THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY
506
ULM
V. 13-15

This book has been DIGITIZED
and is available ONLINE.

Digitized by the Internet Archive
in 2021 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign

https://archive.org/details/mitteilungendesv1315vere

Jahreshefte

des Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften

in

Ulm a. D.

Dreizehntes Heft.

INHALT:

Chronik:

1) Nachruf für Geh. Hofrat Dr. ing. h. c. M. v. Eyth . . . . . Seite III
2) Vereinsversammlungen in den Jahren 1906 und 1907 . . . . „ V
3) Mitgliederverzeichnis . . . . . „ VIII
4) Ausschuss in den Jahren 1906 und 1907 . . . . . „ IX

Wissenschaftliche Mitteilungen:

1) Morphologie und Biologie des Blutes. Von Stabsarzt Dr. Sedlmair Seite 1
2) Die Beseitigung der Rauchplage in den Städten unter besonderer Berücksichtigung der Wegener-Feuerung. Von Prof. Sauter . . . . . „ 16
3) Die Gefäss-Cryptogamen der Ulmer Gegend. Von Prof. Haug „ 49
4) Beiträge zur Ulmer Flora. Von Prof. Haug . . . . . „ 57
5) Ueber Bausteine. Von Dr. Leube . . . . . „ 58

506
ULM
5.13

CHRONIK

22251
329

Max Eyth †.

Am 25. August 1906 schied unser Ehrenmitglied Max v. Eyth aus dem Leben. Zu seinem Gedächtnis möge hier der Nachruf eine Stelle finden, den ihm in der ersten Sitzung des Winters 1906/07 der Vereinsvorstand gewidmet hat und der lautete:

Bei unserem heutigen ersten Wiederzusammensein vermissen wir schmerzlich einen Mann, der bisher bei unseren Versammlungen nicht zu fehlen pflegte, unser treues und hochverdientes Ehrenmitglied Geheime Hofrat v. Eyth.

Es sind wenige Monate her, dass es ihm vergönnt war, in voller Kraft und Frische des Körpers und des Geistes seinen siebzigsten Geburtstag zu feiern. Ich habe ihm damals im Namen des Vereins unsere Glückwünsche ausgesprochen. Was er geantwortet hat, das Ihnen mitzuteilen, hat sich bis jetzt keine Gelegenheit geboten. Heute werden Sie mit doppeltem Interesse seine Dankesworte vernehmen. Er schrieb:

„Für Ihre gütigen Glückwünsche zu meinem siebzigsten Geburtstag spreche ich Ihnen meinen herzlichsten Dank aus. Es hat seine zwei Seiten, auf die schon vom weisen Salomo als normale Lebensdauer festgesetzte Zahl von Jahren zurückblicken zu können, aber ich habe keine Ursache, mich hierüber zu grämen, und darf Glückwünsche nach vor- und rückwärts mit dankbarer Freude entgegennehmen.“ . . . . „Sie werden Mitleid mit mir haben, wenn ich Ihnen mitteile, dass ich zur Zeit unter der Last von 400 Telegrammen und Briefen ein innerlich glückliches, aber äusserlich jämmerliches Dasein führe.“

Es ist echt Eyth'scher Humor und Eyth'sche Lebensfreudigkeit, die in diesen Worten sich kundgeben. Aber die Grenze

512245

des Menschenlebens, von der unser Freund sprach, durfte er nur um weniges überschreiten. In den letzten Augusttagen ist er jäh aus dem Kreise der Lebenden gerissen worden, und heute können wir nur des von uns genommenen Freundes gedenken.

Eyth war es, wie wenigen, gegeben, Schönes und Bedeutendes ins Dasein zu rufen zur Freude und zum Segen für seine Mitmenschen. Auch wir durften uns so mancher freundlichen und wertvollen von ihm gespendeten Gabe erfreuen. Von neuem erfüllt uns Dankbarkeit, wenn wir an die geistvollen Vorträge uns erinnern, in denen er uns Gegenstände vorgeführt hat aus dem Gebiete dessen, was er selbst geschaut, gedacht und erlebt hatte, wenn wir daran denken, wie er so manchmal nach Schluss unserer wissenschaftlichen Verhandlungen als liebenswürdiger Erzähler uns fesselte, wie er das tat in seiner schlichten, anspruchslosen Weise, der alles Vordrängende und Zudringliche ferne lag.

Und wie hoch achtungswert steht vor uns der Mann, der in der Fremde, wo er den grössten Teil seines Lebens verbrachte, sich seine schwäbische Eigenart bewahrt, der, inmitten des Gewühls materieller Bestrebungen stehend, seinen Idealismus nicht verloren hat, der Mann mit der schlichten Frömmigkeit und der vornehmen Sinnesart, die nie ein frivoles oder unsauberes Wort aus seinem Munde kommen liessen, der treue deutsche Mann, dessen Patriotismus nicht ein Patriotismus der Phrase, sondern der Gesinnung und der Tat gewesen ist!

Es ist ein kleiner Ausschnitt aus seinem Leben, der sich hier in unserem Kreise vor unseren Augen ausgebreitet hat. Seine eigentliche, seine grosse Lebensarbeit hat er anderwärts geleistet: als Ingenieur hat er drei Weltteilen die Segnungen der Technik vermittelt, als Schriftsteller und Dichter hat er Tausenden in der Nähe und in der Ferne das Herz erquickt und Erhebung des Geistes gebracht, als Organisator ist er ein Wohltäter der deutschen Landwirtschaft geworden.

Aber, wir mögen unsern Blick auf jenen kleinen Lebensausschnitt oder auf das Ganze dieses gesegneten Lebens richten, es ist derselbe Eindruck, den wir von dort und von hier fortnehmen: ein reicher Geist, ein reiner Charakter, ein edler Mensch ist mit Max Eyth dahingegangen.

Vereinsversammlungen in den Jahren 1906 und 1907.

Am 8. Januar 1906.

Vortrag von Fabrikant O. Magirus über „Feuerwehrautomobile."

Am 22. Januar 1906.

Stiftungsfest.

Am 12. Februar 1906.

Prof. Kleinfelder berichtet über die beim Münster verwendeten Bausteine und Rektor Neuffer über Bedeckung der Fixsterne.

Am 26. Febr. 1906.

Der Verein beteiligt sich an einem Vortrag des Physikers Liebetrau über „Flüssige Luft."

Am 12. März 1906.

Vortrag von Rechtsanwalt Teichmann über „Die Gletscher der Alpen."

Am 26. März 1906.

Vortrag von Bauinspektor Lupfer über die „Wallstrassenbrücke."

Am 30. April 1906.

Vortrag von Prof. Claus über „Die Kultur der Baumwolle."

Am 24. Juni 1906.

Der Math.-Naturw. Verein veranstaltet zu Ehren des Vereins für Vaterländische Naturkunde eine Vorführung des Foucault'schen Pendelversuchs im Münster, die von Prof. Sauter geleitet wird.

Am 8. Okt. 1906.

Nachruf für das im August des Jahres verstorbene Ehrenmitglied Geh. Hofrat Dr. ing. h. c. M. v. Eyth.

Vortrag von Prof. Haug über „Die Farbstoffe des Laubblattes und ihre Bedeutung für das Leben der Pflanze."

Am 22. Okt. 1906.

Vortrag von Stabsarzt Dr. Sedlmair über „Morphologie und Biologie des Bluts."

Am 19. Nov. 1906.

Vortrag von Dr. Leube über „Bausteine."

Am 10. Dez. 1906.

Vortrag von Prof. Sauter über „Die Beseitigung der Rauchplage in den Städten."

Am 14. Januar 1907.

Vortrag von Rechtsanwalt Teichmann über „Verwitterung und Erosion im Hochgebirge."

Am 4. Februar 1907.

Stiftungsfest.

Am 18. Februar 1907.

Vortrag von Prof. Claus über die Frage: „Können die Tropen von Europäern besiedelt werden?"

Am 11. März 1907.

Vortrag von Dr. Krauss über „Die Tuberkulose und ihre Bekämpfung."

Am 22. April 1907.

Prof. Claus erwähnt eine grössere Anzahl von Berichten, darunter auch solche von deutschen, englischen und französischen Marineoffizieren, wornach in verschiedenen Meeren, im ganzen an 10 zum Teil weit von einander entfernten Stellen, ein grosses Tier, eine „Seeschlange" ge-

sehen worden sei. — Prof. Haug zeigt eine Anzahl ausländischer, durch Samenverschleppung zu uns gekommener Pflanzen.

Am 13. Mai 1907.

Prof. Haug spricht über die Begriffe Varietät und Art.

Am 14. Okt. 1907.

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Schad aus Ehingen über das „Tertiär am südlichen Albrand".

Am 28. Okt. 1907.

Vortrag von Prof. Claus über die „Franzosen, ihre Zahl und Verbreitung."

Am 25. Nov. 1907.

Oberstudienrat Neuffer macht Mitteilungen über den Merkur und den Merkurdurchgang vom 14. Nov. 1907.

Am 9. Dez. 1907.

Vortrag von Prof. Sauter über die „Gefahren der Elektrizität" und zwar zunächst über „Die Gefahren für den Menschen."

Mitglieder-Verzeichnis.

1) Angele, Baurat.
2) Bader, Apotheker.
3) Beck, Wilh., sen., Kaufmann.
4) Bracher, Kaufmann.
5) Braun, P., Baurat.
6) Brost, Professor.
7) Bruckmann, Apotheker.
8) Dr. Buhl, Stabsarzt.
9) Bürglen, Kommerzienrat.
10) Dr. v. Burk, Generalarzt.
11) Busch, Leutnant.
12) Claus, Professor.
13) Daigeler, Direktor.
14) Dieterlen, Professor, Ehrenmitglied.
15) Ebner, Redakteur.
16) Egger, Leutnant.
17) Engel, Kommerzienrat.
18) Engel, Karl, jun.
19) Dr. med. Fischer
20) Frank, Forstrat a. D.
21) Gottschick, Mechaniker.
22) Haas, Baurat.
23) Haug, Professor.
24) Hausch, Privatier.
25) Dr. med. Hegele
26) v. Heider, Landgerichtsdirektor.
27) Heim, Rechtsanwalt.
28) Hölder, Oberleutnant.
29) Dr. Hölscher, Stabsarzt.
30) Hörz, Turmuhrenmacher.
31) Hosch, Professor.
32) Dr. Hubbauer, Oberstabsarzt a. D.
33) Dr. Jäger, Medizinalrat.
34) Dr. Kauffmann, Augenarzt.
35) Kienzle, Architekt.
36) Kleinfelder, Professor.
37) Dr. med. Klemm
38) Dr. med. Krauss
39) Leibbrand, Oberpräzeptor.
40) Dr. Leube, Apotheker, Ehrenmitglied.
41) Leube, O., Fabrikant.
42) Leuze, Oskar, Privatier.
43) Lusser, Professor.
44) Magirus, O., Fabrikant.
45) Magirus, Rektor.
46) Majer, Sanitätsrat.
47) Mangold, Lehrer.
48) Marmein, Professor.
49) Maul, Leutnant.
50) Mayer, E., Bauinspektor.
51) Dr. med. Mendler.
52) Messer, Feuerwerkshauptmann.
53) Mörschel, Leutnant.
54) Neuffer, Oberstudienrat.
55) Obermaier, Leutnant.
56) Dr. med. Palm.
57) Pfeilsticker, Oberregierungsrat, Ehrenmitglied.
58) Pflüger, Präzeptor.
59) Reichardt, Direktor.
60) Romann, Stadtbaumeister.
61) Dr. Rössle, Stadttierarzt.
62) Salvisberg, Leutnant.
63) Sauter, Professor.
64) Dr. Schall, Apotheker.
65) Schefold, Oberstleutnant.
66) Schimpf, Gas- und Wasserwerksdirektor.
67) Schrejack, Garnisonsverwaltungsdirektor.
68) Dr. Schuon, Oberstabsarzt.
69) Schwenk, Kommerzienrat.
70) Dr. Sedlmair, Stabsarzt.
71) Siegeneger, Regierungsrat.
72) Dr. Sing, Stadtarzt.
73) Dr. Spohn, Gerhausen-Blaubeuren.
74) Teichmann, Rechtsanwalt.

75) Dr. Wacker, Hofrat. Ehrenmitglied
76) Dr. Wacker, jun.
77) v. Wagner, Oberbürgermeister.
78) Wechssler, Privatier.
79) Weisheit, Bankier.
80) Wünsch, Reg.-Bauführer.
81) Zeller, Reg.-Baumeister.

Gestorben: Das Ehrenmitglied Geh. Hofrat Dr. ing. h. c. M. v. Eyth.

Ausschuss in den Jahren 1906 und 1907.

I. Vorstand: Oberstudienrat Neuffer.
II. Vorstand: Dr. med. Krauss.
I. Schriftführer: Professor Claus.
II. Schriftführer: Apotheker Dr. Leube.
Bibliothekar: Prof. Haug.
Rechner: Präzeptor Pflüger.

Morphologie und Biologie des Blutes.

Vortrag von Stabsarzt **Dr. Sedlmair.**

Unter Blut verstehen wir die im Tierkörper innerhalb der Blutgefässe zirkulierende Flüssigkeit. Die Blutgefässe im Ganzen stellen ein geschlossenes Röhrensystem dar, mittelst dessen sämtlichen Geweben des Körpers die notwendigen Nährstoffe, vor allem Sauerstoff, zugeführt und die durch die Lebenstätigkeit der Zellen entstandenen Stoffwechselprodukte entfernt werden. Zunächst einige kurze Vorbemerkungen über den Blutkreislauf.

Der Blutkreislauf ist bei den Fischen ein einfacher: Das Blut fliesst vom Herzen in die Kiemen, nimmt dort Sauerstoff auf, strömt dann durch die Schlagadern den Geweben zu und kehrt wieder zum Herzen zurück. Bei den höheren Wirbeltieren haben wir einen doppelten Kreislauf: den Körperkreislauf und den Lungenkreislauf. Das hellrote sauerstoffreiche Blut wird von der linken Herzkammer — beim Menschen bei jeder Zusammenziehung 188 g (Volkmann) mit einem Druck, entsprechend einer Blutsäule von 3,21 m (Donders) — in die grosse Körperschlagader geworfen, wird von dort durch die Schlagadern in die einzelnen Körperteile getrieben, mittels der Haargefässe in den Geweben verteilt und schliesslich, in den Blutadern gesammelt, als dunkelrotes, sauerstoffarmes Blut zum Herzen (und zwar zur rechten Vorkammer) zurückgeleitet. Von der rechten Herzkammer aus wird nun das dunkelrote Blut in die Lungen geführt, um dort Sauerstoff aufzunehmen und die aus den Geweben mitgeführte Kohlensäure an die Atmungsluft abzugeben, und strömt als hellrotes Blut wieder zum Herzen zurück. Bei allen Warmblütern wird (nach Vierordt) in 27 Herzzusammenziehungen ein vollständiger Umlauf des Blutes vollführt; die Kreislaufdauer eines Blutkörperchens beträgt also beim Menschen 23,2 Sekunden.

Als bewegende Kraft fungiert bei den meisten Wirbeltieren der Herzmuskel, welcher beim Menschen eine tägliche Arbeitsleistung von 86·970 kgm vollbringt (= 10 Ztr. auf Münsterturmshöhe zu heben). Nicht alle Wirbeltiere haben ein Herz: das Lanzettfischchen, Amphioxus lanceolatus, das niederste aller Wirbeltiere, hat kein Herz, sondern nur rhytmisch sich zusammenziehende Gefässe. Analog bildet sich auch bei den Embryonen der Säugetiere ursprünglich ein S-förmig gekrümmtes Gefäss, das sich dann später zu dem Herzen umformt. Aristoteles nannte diese Herzanlage, welche beim bebrüteten Hühnerei schon nach dem 1. Tage als rotes hüpfendes Pünktchen zu sehen ist, στίγμη κινουμένη, punctum saliens.

Herz- und Blutgefässe waren den Alten schon bekannt; nicht aber ihre Funktion. Nach Hippokrates ist das Herz die Wurzel aller Gefässe. Aristoteles nennt das Herz die Akropolis des Leibes und lehrte, dass das Herz das Blut bereite, welches dann durch die Adern als Nährflüssigkeit zu den Geweben ströme, gleichwie fort und fort sich teilende Wasserbäche ein Gelände durchrieselnd, dieses befeuchten und befruchten; das Zurückströmen des Blutes zum Herzen kannte man nicht. Diese Vorstellung herrschte bis ins 16. und 17. Jahrhundert. Erst die Schüler des grossen Vesal entdeckten den Blutkreislauf: zuerst fand Michael Serveto (ein spanischer Mönch, der 1553 in Genf auf Calvin's Befehl als Ketzer verbrannt wurde,) den Lungenkreislauf und William Harvey demonstrierte 1616 den Gesamtkreislauf. Es sind noch keine 3 Jahrhunderte, dass wir eine richtige Vorstellung über den Blutkreislauf haben.

Das Blut fast aller Wirbeltiere stellt sich zunächst dar als eine trübe, undurchsichtige rote Flüssigkeit. Unter der Lupe sehen wir, dass die rote Färbung des Wirbeltierblutes nur von den roten Blutkörperchen herrührt und dass die Blutflüssigkeit selbst farblos ist. Der rote Farbstoff ist nicht gelöst in der Blutflüssigkeit, sondern ist in den Blutkörperchen enthalten; er wirkt also als Deckfarbe. Die Wirbeltiere haben alle rotes Blut, mit Ausnahme des Lanzettfischchens, welches nur weisse Blutkörperchen besitzt. Die wirbellosen Tiere haben ebenfalls nur farblose Blutzellen und meist farblose Blutflüssigkeit. Manche Weichtiere (Molluscen) haben rotes, violettes, braunes oder grünes

Blut; es zeigt sich aber hier der prinzipielle Unterschied gegenüber den Wirbeltieren, dass der Farbstoff in der Blutflüssigkeit seinen Sitz hat und dass die Blutzellen farblos sind. Blaues Blut haben manche Krebse und Tintenfische; der betreffende Farbstoff (Haemocyanin) enthält merkwürdigerweise Kupfer, also ein sonst giftiges Metall.

Das Wirbeltierblut besteht also aus Blutflüssigkeit und Blutkörperchen. Die letzteren werden eingeteilt in rote Blutkörperchen und in weisse Blutzellen, dazu kämen noch die sog. Blutplättchen.

Die roten Blutkörperchen des Menschen (Erythrocyten), welche 1673 durch van Leeuwenhoek entdeckt wurden, sind kreisrunde münzenförmige Scheibchen ohne Kern, welche oft geldrollenartig an einander gelagert sind. Der Durchmesser eines menschlichen Erythrocyten beträgt 7,7 μ (= 0,0077 mm), die Dicke 1,9 μ, das Gewicht 0,000 000 08 mg (d. i. weniger als der 10-Millionste Teil einer noch gerade wägbaren Menge); die Oberfläche bei einem Volumen von weniger als dem 10-Millionsten Teil eines cbmm (0,000 000 0772) 0,128 Tausendstel qmm; man ersieht, die Natur verfolgte das Prinzip, bei (möglichst) kleinem Volumen eine möglichst grosse Oberfläche der Blutzellen zu bilden. Die Gesamtoberfläche sämtlicher roter Blutkörperchen eines Erwachsenen von mittlerem Körpergewicht (ca. 57 kg) berechnet sich auf 2816 qm, also eine Fläche von 53 m im Quadrat. In 1 Sekunde werden ungefähr 176 cbcm Blut durch die Lungen getrieben; dessen Erythrocyten haben eine Gesamtoberfläche von 81 qm (d. i. eine Fläche von 9 m in der Seite); durch die grosse Oberfläche wird naturgemäss der Gasaustausch, vor allem die Sauerstoffaufnahme, begünstigt.

Die Zahl der roten Blutkörperchen im cbmm beträgt durchschnittlich beim Mann 5 Mill., bei Frauen 4½ Mill.; ein Mensch mit 5 l Blut besitzt also ca. 25 Bill. rote Blutkörperchen. Die Zahl schwankt individuell sehr bedeutend: das Blut der Neugeborenen ist (bis zum 4. Tage) reicher an Erythrocyten, als das der Mutter; Landbewohner haben mehr rote Blutkörper als die Städter; Aufenthalt in Höhenluft steigert die Zahl der roten Blutkörper; alle Blutverluste vermindern natürlich die relative Zahl der Erythrocyten, auch die Menstruation. Ist die

relative Zahl der roten Blutkörper bedeutend herabgesetzt (bis zur Hälfte und mehr), so sprechen wir von Anaemie, Blutarmut. Zu unterscheiden hievon ist die Bleichsucht, die Chlorose, bei welcher das einzelne Blutkörperchen blässer ist und weniger Blutfarbstoff enthält, — also kein Mangel an Blutzellen, sondern Mangel an Blutfarbstoff besteht.

Die Erythrocyten bestehen aus einer farblosen Gerüstsubstanz und dem roten Blutfarbstoff, dem Haemoglobin. Ausserhalb des lebenden Körpers verändern sie bald ihre Gestalt, sie werden „maulbeerförmig" und lösen sich (bes. unter Wärmeeinwirkungen von über 52° C.) auf; hiebei geben sie ihren Blutfarbstoff an die Blutflüssigkeit ab, die dadurch lackfarben und durchsichtig wird. Bei der nötigen Vorsicht kann Säugetierblut in kühlem Raum einige Tage lebensfähig aufgehoben werden. Die Neubildung von Erythrocyten findet in der Milz und im Knochenmark statt, welche beide blutbereitende Organe sich gegenseitig ersetzen können; nach klinischen Erfahrungen und nach Experimenten an Tieren kann, wie schon Galenus gelehrt hat, die Milz ohne Nachteil für Leben und Gesundheit entfernt werden; nach Schiff soll die Zahl der Erythrocyten sich durch die Milzexstirpation nicht verändern; es übernimmt in diesem Fall jedenfalls das Knochenmark allein die Funktion der Neubildung der roten Blutkörperchen. Die ausgewachsenen reifen Erythrocyten der Säugetiere sind kernlos; kernhaltige Blutzellen, welche sich bes. beim Embryo und bei Anaemien finden, werden als unreife Erythrocyten aufgefasst.

Auch phylogenetisch, in Bezug auf die Entstehung der Arten, treffen wir dieses Verhalten: die niederen Wirbeltiere, Fische, Amphibien, Reptilien und Vögel, haben kernhaltige rote Blutkörperchen; die Säugetiere dagegen ausnahmslos kernlose Erythrocyten; wir sehen also auch bezüglich der Bildung der roten Blutkörper eine Uebereinstimmung mit dem phylogenetischen Grundgesetz; Haeckel hat bekanntlich die Regel aufgestellt: „Die Entwicklung des Einzelindividuums stellt eine kurze Rekapitulation der Entwicklung der Art dar." Der Säugetier-Embryo zeigt in einem gewissen Entwicklungsstadium bezüglich seiner roten Blutkörperchen dasselbe Verhalten, wie die älteren dem Säugetier-Zeitalter vorangehenden niederen Wirbeltiere.

Verschiedene Tierklassen haben nicht runde Erythrocyten, wie die meisten Säugetiere, sondern länglich elliptische; hieher gehören alle Vögel, Reptilien, Amphibien, die meisten Fische und von den Säugern das Kameel und das Lama.

Nicht bloss die Form, auch die Grösse zeigt bei den verschiedenen Arten bedeutende Schwankungen: bei manchen Amphibien kann man die Erythrocyten mit blossem Auge sehen. Die grössten Erythrocyten zeigt der Lurch Amphiuma, dann der Proteus mit über $^1/_{20}$ mm Durchmesser (also 7 mal grösserem als bei den menschlichen). Es ist klar, dass bei grossen Blutzellen die Gesamtoberfläche der Erythrocyten bedeutend geringer wird. Manche Säugetiere haben auch kleinere rote Blutkörperchen als der Mensch, so z. B. das Schaf mit 5,0 μ, die Ziege mit 4,1 μ. Eine bestimmte gesetzmässige Beziehung zur Körpergrösse ist nicht gefunden.

Das Vorkommen krankhafter Formen der roten Blutkörperchen, wie solche bei perniciöser Anaemie vorkommen, sog. Megaloblasten möchte ich noch kurz streifen.

Das menschliche Blut enthält ausser den roten auch eine geringe Zahl weisser Blutkörperchen: Leucocyten. Sie wurden 1770 von Hewson entdeckt — also etwa 100 Jahre später als die roten Blutkörperchen —, aber erst Virchow lenkte 1845 die Aufmerksamkeit der praktischen Medizin durch die Aufstellung des Krankheitsbildes der Leucaemie auf die Leucocyten. Weitere Aufklärungen über die verschiedenen Arten der weissen Blutzellen und ihr Verhalten bei den einzelnen Krankheiten haben wir erst in den letzten 2 Jahrzehnten durch Ehrlich und Andere erhalten.

Die weissen Blutkörperchen werden in 3 Klassen eingeteilt:

1. Die mehrkernigen Leucocyten, deren feine Protoplasmakörner (granula) sich mit neutralen Farbstoffen leicht färben lassen: sie sind morphologisch identisch mit den gewöhnlichen Eiterzellen; sie machen beim gesunden Erwachsenen etwa $^3/_4$ aller weisser Blutzellen aus.
2. Mehrkernige Leucocyten, welche gröbere Körner zeigen, die eine starke Anziehung zu sauren Farbstoffen, zu Eosin, haben. Diese Zellen, „eosinophile Leucocyten“ genannt, finden sich normal nur in 3% aller weissen Blutzellen.

3. Etwa 1/4 der Leucocyten sind runde Zellen von der Grösse der roten Blutkörperchen und mit Vorliebe für basische Farbstoffe (Methylenblau), deren ganzer Zellkörper beinahe von einem grossen Kern eingenommen wird: man heisst sie basophile Zellen oder Lymphzellen, Lymphocyten.

Auf die pathologischen Zellformen, die bei Blutkrankheiten vorkommen: einkernige Neutrophile (Myelocyten, unreife Eiterzellen); einkernige Eosinophile (unreife Knochenmarkszellen); grosse Lymphocyten; Mastzellen mit grober basophiler Körnung, näher einzugehen, würde zu weit führen.

1 cbmm normales menschliches Blut enthält 6—10000 weisse Blutzellen; es treffen also auf 1 Leucocyten 500—800 rote Blutkörperchen. Dieses Verhältnis zeigt gewisse physiologische Schwankungen, so nimmt z. B. während der Verdauung die Zahl der weissen Blutzellen zu.

Ist die Zahl der roten Blutkörperchen vermindert und zugleich die Zahl der weissen Blutzellen stark vermehrt (auf mindestens 100 000 pro cbmm), so liegt eine eigenartige, ziemlich seltene Krankheit, die oben erwähnte Virchow'sche Leucaemie, vor („Weissblutkrankheit"). Man unterscheidet verschiedene Formen, so die lymphatische Leucaemie, bei welcher die einkernigen Lymphzellen vermehrt sind und die myclogene Leucaemie, bei der die sog. Mastzellen, pathologische Zellformen, in grosser Zahl auftreten.

Streng davon zu trennen ist ein Zustand, welchen wir Leucocytose oder besser Hyperleucocytose nennen: hiebei treten keine pathologischen Zellformen auf, sondern nur die eine oder andere Art der normalen Leucocyten ist vermehrt (ungefähr auf das 3fache der Normalzahl). Dieser Zustand ist eine Begleiterscheinung der verschiedensten Krankheiten. So hat man in den letzten Jahren z. B. gefunden, dass sich Eiterungen im Körperinnern (z. B. im Bauch, am Blinddarm) meist durch Vermehrung der mehrkernigen, neutrophilen, weissen Blutzellen verraten: ein paar Tropfen Blut, aus der Fingerspitze genommen, kann uns Aufschluss geben, ob im Bauch ein Abscess vorhanden ist. Ein ähnliches Bild der Hyperleucocytose gibt das Blutpräparat bei den meisten Lungenentzündungen; diese neutrophilen Leucocytosen pflegen nur bei sehr schweren bösartigen Lungen-

entzündungen zu fehlen. Eine Vermehrung der neutrophilen weissen Blutzellen findet sich ferner noch bei Scharlach.

Bei anderen Krankheiten finden wir wieder andere Arten von weissen Blutzellen vermehrt: so die Lymphocyten bei Masern, bei Typhus und bei angeborener Syphilis (wenn keine Komplikationen vorliegen); eine eosinophile Leucocytose beobachtet man hinwiederum bei der Trichinenkrankheit, dem Asthma und bei manchen chronischen Hautkrankheiten.

Ausser den roten und weissen Blutkörperchen finden sich im menschlichen Blute die von Bizzozero zuerst beschriebenen sog. Blutplättchen; es sind dies ovale oder scheibenförmige, farblose, kernhaltige Zellen von der Grösse von $^1/_5$ bis zur Hälfte der Grösse der Erythrocyten. In 1 cmm Blut findet man durchschnittlich 228 000 Blutplättchen, das ist auf 20 rote Blutkörperchen 1 Blutplättchen. Die Fragen der Entstehung und der Bedeutung der Blutplättchen sind noch nicht geklärt; jedenfalls scheinen Beziehungen der Plättchen zur Blutgerinnung zu bestehen: man nimmt an, dass die Plättchen die Ursprungsorte einer der Vorstufen des Faserstofffermentes darstellen, auf welches wir später zu sprechen kommen werden.

Während ihre Zahl beim gesunden Menschen ziemlich konstant bleibt, nehmen die Plättchen Anteil an gewissen Krankheiten, so ist ihre Zahl bei chronischen Erkrankungen, sowie bei Rotlauf und Blutvergiftung vermehrt, wie neuerdings neben Anderen Helber nachgewiesen hat.

Diese dreierlei Formelemente, rote Blutkörperchen, weisse Blutzellen und Plättchen schwimmen in der Blutflüssigkeit, im Blutplasma. Chemisch stellt sich das Plasma dar als eine farblose bis gelbliche Flüssigkeit mit 8 % Eiweissgehalt und 0,5 % Kochsalz, dazu kommen noch Spuren von Fett, Zucker und Stoffwechselprodukten (Harnstoff u. s. w.). Eine $^1/_2$ %ige Kochsalzlösung nennen wir „physiologische Kochsalzlösung“; es ist diejenige Lösung, welche der die Gewebe durchtränkenden Blutflüssigkeit am meisten entspricht und welche die lebenden Zellen am wenigsten reizt oder schädigt. Von ihrer Anwendung bei der Infusion werden wir später hören.

Sobald das Blut entleert wird oder die unmittelbare Berührung mit der lebenden gesunden Gefässwand aufgehoben

wird, gerinnt das Blut: es bilden sich schon nach mehreren Minuten äusserst zarte Faserstofffäden, welche wie ein Spinnwebennetz die Blutkörperchen zu einer gallertigen Masse zusammenhalten. Diese Masse nennt man Blutkuchen; die klare Flüssigkeit über diesem heisst Serum.

Die Gerinnung, oder mit anderen Worten die Bildung von Faserstoff, erfolgt durch den Zusammentritt der fibrinogenen und der fibrinoplastischen Substanz unter Wirkung des Gerinnungsfermentes; durch Mischen der isolierten Lösungen dieser Substanzen kann man im Reagenzglas Gerinnung erzeugen.

Wenn bei Lebenden bei gewissen Krankheiten (z. B. Blutvergiftung) innerhalb der Gefässe spontane Blutgerinnungen auftreten, so entstehen durch Verstopfung der Gefässe (Thromben-Bildung) sehr gefährliche Zustände. Aber andererseits ist die Eigenschaft des Blutes, bei Verlassen der Gefässe zu gerinnen, eine sehr wichtige Selbsthilfe des Organismus bei Blutungen: nur durch die Gerinnung ist es möglich, dass die durch Wunden oder Zerreisungen entstandenen Oeffnungen der Haargefässe sich durch Verkleben von selbst wieder schliessen.

Es gibt nun eine Krankheit, deren Wesen darin besteht, dass die Gerinnungsfähigkeit des Blutes fehlt: die Haemophilie, die Bluterkrankheit; solche Bluter können sich an den geringfügigsten Wunden, durch Nasenbluten und dergl. verbluten.

Die wichtigste Aufgabe der Blutzirkulation ist, den einzelnen Geweben des Körpers Sauerstoff zuzuführen, und die gebildete Kohlensäure daraus zu entfernen. Das Blut kann grosse Mengen Sauerstoff und Kohlensäure in sich aufnehmen; mittels der Luftpumpe kann man dem Blut 17 Volumprozente Sauerstoff und 29 Volumprozente Kohlensäure entziehen. Von einer einfachen physikalischen Absorption von Gasen kann bei so grossen Mengen nicht die Rede sein; die Absorptionskraft des Blutserums ist nicht grösser, als die des Wassers. Der Sauerstoff geht bei seiner Aufnahme in der Lunge (bezw. in den Kiemen) eine chemische Verbindung mit dem Blutfarbstoff, dem Haemoglobin, ein, welches in den roten Blutkörperchen enthalten ist; die Bindung ist hiebei eine lockere, so dass während der Zirkulation des Blutes in den Geweben der Sauerstoff wieder leicht abgegeben werden kann. Um die Sauerstoff-Aufnahme,

bezw. -Abgabe an die roten Blutkörperchen zu erleichtern, hat die Natur, wie wir eben gesehen, es so eingerichtet, dass die Oberfläche der Erythrocyten eine möglichst grosse ist. Die Grösse der Sauerstoffaufnahme hängt von der Menge (gewöhnlich 12-15%) des im Blute befindlichen Haemoglobin's ab; ein Blutkörperchen einer Bleichsüchtigen nimmt weniger O auf, als das einer Gesunden.

Der Blutfarbstoff ist eine Eisen-Eiweissverbindung; er enthält 0,42% Eisen; nach Hoppe-Leyler werden auf 1 Atom Fe 2 Atom O gebunden. Das Haemoglobin bildet Kristalle im rhombischen System; die Kristallformen sind in den einzelnen Tierklassen verschieden. Die Darstellung dieser Haemoglobin-Kristalle ist kompliziert und hat nur theoretisches Interesse. Grossen praktischen Wert für die Erkennung von Blutflecken, besonders für forensische Zwecke, hat dagegen die Darstellung von Kristallen der salzsauren Verbindung des eisenhaltigen Spaltungsproduktes des Haemoglobins, des Haematin's. Diese Kristalle des salzsauren Haematins, des sog. Haemins, als Teichmann'sche Kristalle bekannt, lassen sich leicht darstellen, indem man geringste Mengen Blut von alten Blutflecken mit Kochsalz und ein paar Tropfen Eisessig zusammen erwärmt. Die Haemin-Kristalle verschiedener Tierarten lassen sich nicht sicher unterscheiden. Der gerichtliche Sachverständige kann bei positivem Ausfall der Haemin-Probe nur aussagen, dass Blut vorhanden ist, aber nicht, ob Tier- oder Menschenblut.

Eine andere Methode zum sicheren Nachweis von Blutfarbstoff ist die Spektralanalyse. Das Haemoglobin hat bestimmte Absorptionsstreifen im Spektrum; diese sind verschieden, je nachdem das Haemoglobin gasfrei, oder an Sauerstoff oder an Kohlenoxyd gebunden ist. Sauerstoff-Haemoglobin zeigt 2 Absorptionsstreifen im Gelb und Grün.

Nebenbei mag hier bemerkt werden, dass der Blutfarbstoff eine stärkere chemische Affinität zu dem giftigen Kohlenoxydgas besitzt, als zum Sauerstoff. Bei Vorhandensein von Kohlenoxyd wird deshalb dieses vom Blut statt des Sauerstoffes aufgenommen. 1 l Kohlenoxyd-Gas, auf einmal eingeatmet, tötet einen Menschen binnen weniger Minuten. Diese stärkere Wahlverwandtschaft des Blutfarbstoffes zu dem giftigen Gas statt zu dem unentbehrlichen Sauerstoff ist entschieden eine äusserst un-

zweckmässige Einrichtung der Natur. Überhaupt, je unbefangener wir an die Naturerscheinungen herantreten, um sie auf ihre Zweckmässigkeit zu prüfen, desto mehr sehen wir ein, dass der Satz, alles sei in der Natur zweckmässig eingerichtet, falsch ist und nur ein frommes Vorurteil, eine schöne Selbsttäuschung darstellt. Die Natur schafft nicht nach vorgefasstem Plane, alle Eventualitäten von vornherein erwägend, sondern, unbewusst wie der Künstler, tastend, experimentierend. Nicht von Anfang an besteht die Zweckmässigkeit in der Natur, sie bildet sich allmälig aus in langen Entwicklungsreihen durch Anpassung an die Verhältnisse, durch Erhaltung zweckentsprechender Variationen, durch Ausmusterung des Unzweckmässigen. So ist es verständlich, dass wir am Tierkörper nur Schutzeinrichtungen gegen allgemein wirksame, die grosse Mehrzahl der Individuen treffende Schädlichkeiten vorfinden, dagegen nicht gegen seltener eintretende, mehr zufällige, vereinzelte Schädigungen. Dass bei der grossen Mehrzahl der Menschen kleine blutende Wunden durch Bildung von Blutgerinnsel verkleben und so meist die Blutung durch unbewusste Selbsthilfe des Organismus steht, diese eminent zweckmässige Einrichtung ist eine Folge der Selektion, der Auswahl: die Bluter unter unseren Vorfahren, denen diese vorteilhafte Eigenschaft des Blutes fehlte, gingen jedenfalls eben infolge ihres Leidens häufig zu grunde; ihre Zahl wurde immer weniger und so konnten sie auch ihre Eigenart nicht in dem Masse auf ihre Nachkommen vererben, als die übrigen gesunden Individuen. Anders aber steht es z. B. bei der Anpassung gegenüber den Schädlichkeiten der Heizung, gegenüber dem Kohlenoxyd; unsere Urahnen kamen so gut wie nie mit Kohlenoxyd in Berührung, kaum 1000 Jahre gibt es überhaupt in der zivilisierten Welt Kamine; hier war also die Möglichkeit einer allgemeinen Selektion nicht vorhanden.

Die Kohlensäure, welche das Blut von dem Ort ihrer Bildung in den Geweben zur Lunge führt, ist zum grössten Teil in der Blutflüssigkeit an das dort befindliche Natron als einfach- oder doppeltkohlensaures Natron chemisch gebunden.

Die Blutmenge beträgt beim Erwachsenen $^1/_{13}$ des Körpergewichts, beim Neugeborenen etwas weniger ($^1/_{15}$). Ein Mann von mittlerem Körpergewicht (von 57 kg) hat also 4,4 Liter

Blut; darin sind enthalten, 1,76 kg rote Blutkörperchen; diese haben einen Gehalt von 572 g Haemoglobin mit 2,4 g Eisen.

Die Blutmenge, oder genauer ausgedrückt, das Gesamtvolumen des Blutes ist im Allgemeinen abhängig von dem Fassungsraum des geschlossenen Röhrensystems, in welchem das Blut zirkuliert. Die Elastizität, die Ausdehnungsfähigkeit der Blutgefässe, gestattet zwar gewisse Schwankungen der Blutmenge; aber der Organismus zeigt das Bestreben, die normale Blutmenge wieder herzustellen. Wird Tieren Blut derselben Art in die Adern in erheblicher Menge (bis zu 83% der regelmässigen Blutmenge) eingespritzt, so stellt sich schon nach 1 bis 2 Tagen der normale Blutdruck wieder her; die überschüssige Blutflüssigkeit wird zuerst ausgeschieden, so dass das Volumen des Blutes normal wird, die absolute Zahl der roten Blutkörperchen aber zunächst erhöht bleibt. In ähnlicher Weise ersetzt sich nach Blutverlusten, Aderlässen oder dergl. schon nach 1 bis 2 Tagen das Volumen des Blutes wieder; die verloren gegangenen Blutzellen bedürfen naturgemäss zu ihrem Wiederersatz längere Zeit, eine Reihe von Wochen.

Eine starke Vermehrung der gesamten Blutmasse, eine Polyaemie, wie solche als krankhafter Zustand (Plethora) vorkommt, ist für den Organismus schädlich; die andauernde Steigerung des Blutdruckes, Blutwallungen zum Gehirn mit Schwindelanfällen, und zur Lunge mit Atembeschwerden sind die Folgen. Eine Einspritzung von Blut derselben Art von mehr als 100% der normalen Blutmenge gefährdet direkt das Leben des Versuchstieres.

Eine plötzliche Verminderung der Blutmasse auf die halbe Blutmenge ist lebensgefährlich. Als das einfachste und sicherste Mittel zur Bekämpfung starker Blutverluste erscheint zunächst die Einspritzung fremden Blutes. Diese ist aber in der Praxis auch wegen technischer Schwierigkeiten so gut wie nicht ausführbar. Man begnügt sich damit, keimfreie auf Körpertemperatur erwärmte physiologische Kochsalzlösung in grossen Mengen unter die Haut einzuspritzen: diese Flüssigkeit wird sehr rasch in die Zirkulation aufgenommen und vermehrt so die Blutmenge. Durch dieses verhältnismässig einfache Verfahren,

wenn rechtzeitig angewendet, gelingt es fast immer, die momentane Verblutungsgefahr zu beseitigen.

Die bei dem Studium der Bluttransfusion gefundenen Tatsachen gaben die Anregungen zu Experimenten, welche im letzten Jahrzehnt hochinteressante Resultate über die biologischen Vorgänge im Blut, über die Tätigkeit des lebenden Bluts im Tierkörper, lieferten.

Wenn wir Blut verschiedener Tierspezies zusammenbringen, so werden die roten Blutkörperchen der einen Art meist aufgelöst, so z. B. löst das Blutserum des Aales die roten Blutkörper sämtlicher Säugetiere auf, Kaninchen- oder Ziegenblutserum die des Menschen. Das Ziegenblutserum enthält also ein Gift für menschliche rote Blutkörperchen. Diese Blutzellen auflösenden Substanzen nennen wir Haemolysine. Es kann also niemals Ziegenblut in die Blutbahn des Menschen mit Erfolg übertragen werden; eine solche Transfusion wäre einer Vergiftung mit einem blutzellenauflösenden Gift gleichzuachten.

Das Blutserum hat schon ohne weitere Vorbehandlung spontan das Bestreben, sich gegen Zellen einer fremden Art zu schützen, mit anderen Worten Haemolysine zu bilden. Diese haemolytische Wirkung lässt sich durch die wiederholte Einverleibung fremden Blutes bedeutend steigern. (Bordet 1898.) Man kann durch diese Vorbehandlung ein Blutserum erzeugen, das schon in starker Verdünnung sich wirksam erweist.

Eine bestimmte Menge Haemolysin kann nur ein gewisses Quantum Blutkörperchen auflösen; wenn nun einem Versuchstier eine nicht lebensgefährliche Menge Haemolysin einverleibt wird, und zwar wiederholt und in steigender Dosis, so bilden sich Schutzstoffe, welche die blutauflösende Wirkung der Haemolysine (mit andern Worten deren Giftwirkung) aufheben; diese Schutzstoffe nennt man Antihaemolysine. Man kann also ein Tier an art-fremdes (sonst giftig wirkendes) Blutserum gewöhnen, oder wie der technische Ausdruck heisst, immunisieren.

Diese Antihaemolysine, diese Gegengifte gegen Blutgifte wirken im Allgemeinen nur spezifisch, nämlich ausschliesslich nur gegen das Haemolysin, mit welchem die Immunisierung vorgenommen wurde, also z. B. habe ich ein Kaninchen durch wiederholte Einverleibung von Ziegenblut gegen Ziegen-Haemo-

lysin immunisiert, so ist das Kaninchenblut nur gegen die schädliche Wirkung des Ziegenblutserums geschützt, nicht aber z. B. gegen die Haemolysine des Aalblutes.

Die Haemolysine lösen rote Blutkörperchen auf; es lassen sich neben den Haemolysinen aber noch Substanzen durch Immunisierung herstellen, welche nur die Eiweisskörper der Gerüstsubstanz der roten Blutzellen, (des Stroma's) auflösen, so dass die roten Blutzellen zusammenkleben und sich zu Haufen zusammenballen; diese Stoffe nennt man Haemagglutinine.

Auch gegen diese Blutgifte, gegen die Haemagglutinine, lassen sich Schutzstoffe erzeugen, die Anti-Agglutinine.

Diese Eigenschaft des Blutes, sich gegen artfremde Zellen und gegen tierische Blutgifte zu schützen, hat bis jetzt nur theoretisches Interesse. Von hoher praktischer Bedeutung ist aber die Bildung von Schutzstoffen, von Gegengiften gegen Bakterien und Bakteriengifte; erstere sind den Haemolysinen und Haemagglutinen, letztere den Antihaemolysinen und den Antiagglutininen entsprechend. Ich kann mich mit diesem kurzen Hinweis heute begnügen, da ich in einem früheren Vortrag über Infektionskrankheiten und Serumtherapie schon darüber gesprochen habe.

Zum Schlusse möchte ich aber ausführlicher auf die Bildung der Praecipitine eingehen, welches Kapitel durch den exakten Nachweis von Menschenblut durch Stabsarzt Uhlenhuth eine grosse praktische Bedeutung erlangt hat.

Das Blutserum reagiert nicht allein auf die Einführung artfremder Zellen (Haemolysine, Bacteriolysine), nicht allein auf tierische und pflanzliche Gifte (Antitoxine), sondern auch schon auf artfremde Eiweisskörper. Auch hier ist die Reaktion, und das ist eben von fundamentaler Wichtigkeit, eine streng spezifische: die feinsten Unterschiede in den Eiweisskörpern, welche der Chemiker auf keine Weise feststellen kann, offenbart uns der Versuch am Tierkörper.

Wird einem Kaninchen längere Zeit hindurch Blutserum vom Menschen unter die Haut eingespritzt, so bildet sich im Kaninchenblut eine Substanz, welche das Eiweiss des menschlichen Serums fällt (man bezeichnet diese Stoffe deshalb als Praecipitine); diese Reaktion tritt noch bei Verdünnung von

1: 10000 ein*). Nach einigen Sekunden tritt eine Trübung, nach 1 Stunde ein Niederschlag auf. Dieselbe Reaktion ergibt sich auch bei anderen eiweisshaltigen Körperflüssigkeiten menschlicher Herkunft z. B. Speichel, Samenflüssigkeit u. s. w. Es ist kurz zu sagen, eine Reaktion auf Menschen-Eiweiss. Bringe ich statt vom Menschen stammender Eiweissstoffe Pferde- oder Rinderblutserum mit dem Serum des mit Menschenblut vorbehandelten Kaninchens zusammen, so tritt die Reaktion bei starker Verdünnung nicht ein. Ich kann mittelst dieser sog. biologischen Reaktion also mit Sicherheit feststellen, ob eine Blutlösung von Menschenblut oder von Tierblut stammt. Vor Uhlenhut's Entdeckung war der gerichtliche Sachverständige nicht in der Lage, aussagen zu können, ob ein vorgefundener Blutfleck von Menschenblut oder von Tierblut herrühre; er konnte bloss durch die Haemin-Probe oder durch Spectralanalyse feststellen, dass Blut vorlag. Jetzt kann er die Herkunft des Blutes durch das Tierexperiment feststellen: er behandelt mehrere Kaninchen mit verschiedenem Blutserum: das Tier No. I mit Menschenblutserum, das Tier No. II mit Rinderserum, das Tier No. III mit Pferdeserum, das Tier No. IV. mit Schweineserum; fällt die Reaktion nur mit Serum vom 1. Tier positiv aus, so liegt Menschenblut vor.

In ähnlicher Weise lassen sich Fleisch- oder Milchproben verschiedener Herkunft unterscheiden (wie Wassermann und Schulze gezeigt haben); auch pflanzliche Eiweissstoffe lassen sich durch diese Reaktion auf ihre Herkunft prüfen; der Nahrungsmittelchemiker kann heutzutage sein Versuchskaninchen fragen, ob er Weizenmehl oder Hafermehl, ob er Kuhmilch oder Pferdemilch vor sich hat; ob eine Wurst Pferde-, Katzen- oder Hundefleisch enthält.

Aber auch die theoretische Naturwissenschaft wurde durch die Arbeiten über die Praecipitine um eine Tatsache bereichert.

Ich habe oben gesagt, um die Spezifität der Eiweissstoffe zu prüfen, müsse man starke Verdünnungen des Serums anwenden; bei schwächeren Verdünnungen tritt die Reaktion auch mit Eiweissstoffen verwandter Tierspezis auf, so z. B. bei Be-

*) Chemisch können Eiweissstoffe nur mehr in einer Verdünnung von 1: 1000 nachgewiesen werden.

handlung mit Pferdeblut auch beim Blut vom Esel: das von einem mit Hammelblut vorbehandelten Kaninchen stammende Blutserum gibt einen starken Niederschlag mit Hammelblut, einen weniger starken mit Ziegenblut, einen schwächeren mit Rinderblut; das von einem mit Fuchsblut behandelten Tier stammende Serum fällt die Eiweisskörper des Fuchsblutes, und in schwächerem Grade die des Hundeblutes. Die biologische Reaktion beweist, dass die Eiweisskörper verwandter Tierarten eine ähnliche Zusammensetzung haben; sie zeigt, dass der allgemein anatomischen Verwandtschaft der Tierspezies auch eine Verwandtschaft der Eiweisskörper in chemischer Beziehung parallel geht.

Hervorzuheben ist, dass Affenblut von Menschenblut nicht mit Sicherheit unterschieden werden kann (Wassermann und Stern). Wir müssen daraus schliessen, dass die Eiweissstoffe des Affenblutserums denen des Menschenblutserums nahe verwandt sind.

Die Beseitigung der Rauchplage in den Städten

unter besond. Berücksichtigung der neuen Wegener-Feuerung.

(Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle.)

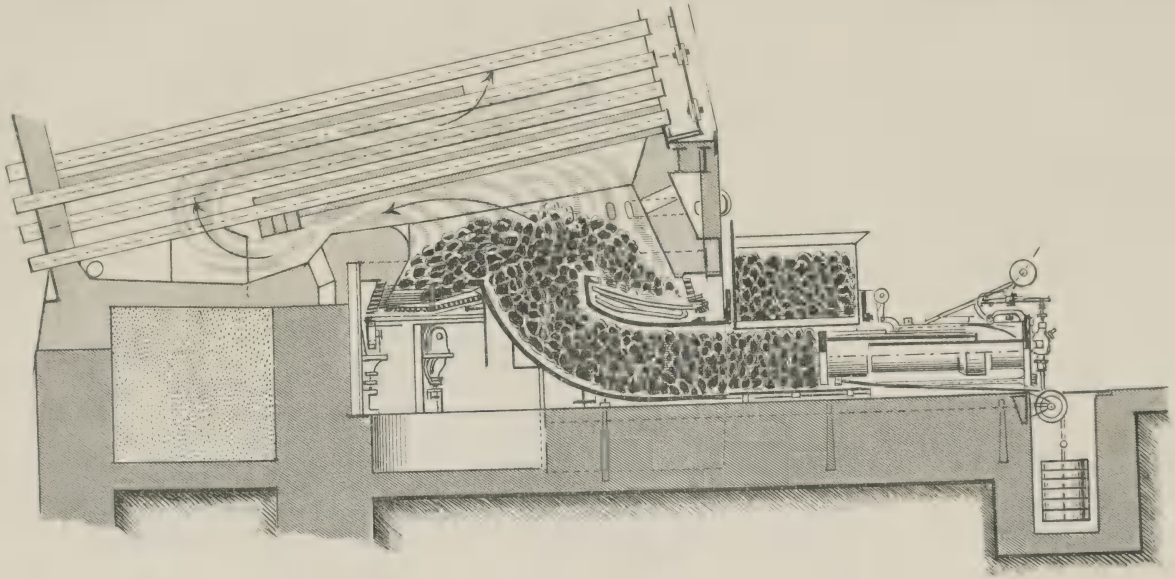
Von Professor **Sauter** in **Ulm a. D.**

Wohl wenige Erscheinungen des modernen Lebens gibt es, die eine grössere Rückwirkung auf die Fortschritte der Kultur haben, als das Anwachsen der grossen Städte und die in ihnen sich vollziehende Industrie. So wenig man diese Erscheinung wird aufhalten können, so deutlich sieht man doch auch die mannigfachen Nachteile, die sie besonders in sozialer und hygienischer Beziehung nach sich zieht. In letzter Hinsicht sind es vor allem die Rauchplage und die mit ihr in Zusammenhang stehende Nebelplage, die uns hier näher interessieren.

Nicht nur in dem Dorado der Rauch- und Nebelplage, in London, kann man manch schönes Liedchen über diese unangenehmen Gäste singen, auch wir in Deutschland haben in vielen Industriestädten die gleiche Berechtigung dazu. Durch die in den letzten 60—70 Jahren stattgefundene enorme Zunahme der Fabriken, Lokomotiven, Dampfschiffe u. s. w. ist auch bei uns die Luft so sehr mit Kohlen- und Staubteilchen angefüllt worden, dass manche grössere Industriestadt es hinsichtlich der Rauch- und Nebelplage fast mit London aufnehmen könnte. Diese Rauch- und Staubmassen sind zum Teil oft recht bedeutend. Schon mit dem blossen Auge kann man die Trübung der Atmosphäre erkennen. Wer z. B. von der Nordsee nach den niederrheinischen Kohlenrevieren und Fabrikzentren, wie Essen, Bochum, Dortmund u. a. fährt, wird sofort den enormen Unterschied in der Reinheit der Luft erkennen. Ueber jenen Kohlenrevieren und Fabrikzentren lagert Tag für Tag eine nebelartige Dunstschicht, die Luft ist mit übelriechenden Gasen angefüllt und alle Gegenstände erscheinen mehr oder weniger schwarz durch die niedersinkenden schweren Kohlen- und Staubteilchen.

Automatische und rauchlose Feuerung

Patent Wegener

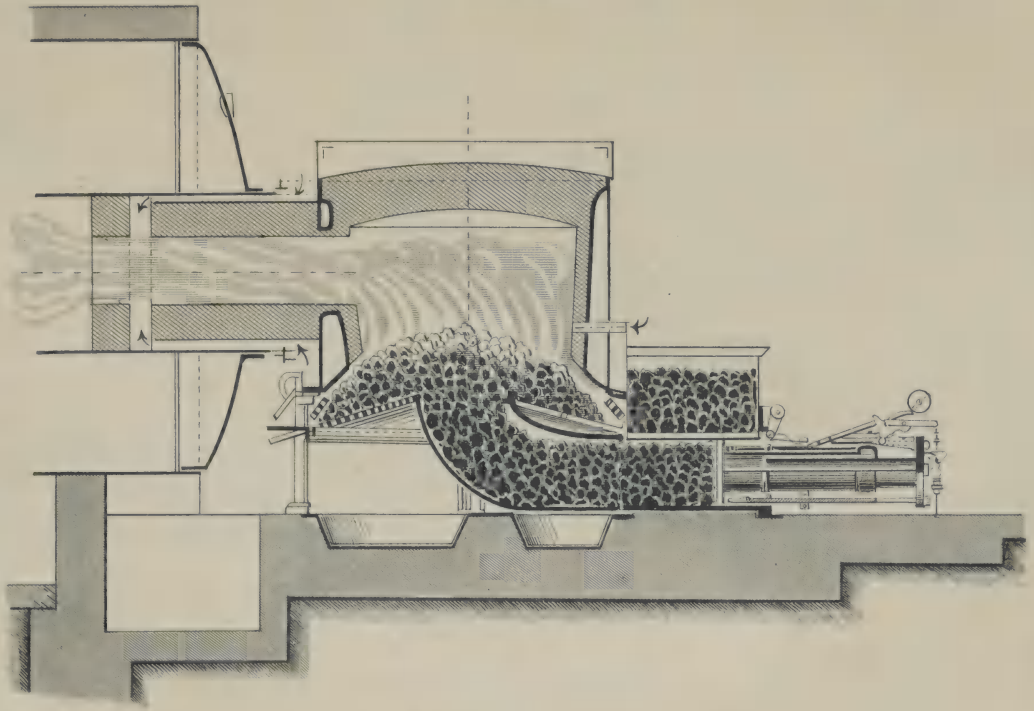


Für Wasserrohrkessel.

Fig. 1.

Automatische und rauchlose Feuerung

Patent Wegener



Für Flammrohrkessel.

Fig. 2.

Wie schon kurz angedeutet, hängen die Rauch- und Nebelplage in den Städten ganz innig mit einander zusammen. Während man bis zum Jahr 1888 allgemein der Ansicht war, dass die Bildung von Nebeln in der Form hohler Bläschen einfach durch die Ausscheidung flüssigen Wassers aus einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre vor sich gehe, hat Prof. Aitken in Edinburg im Jahre 1888 durch exakte Versuche nachgewiesen, dass als bestimmende Ursache für die Ausscheidung des Wasserdampfes aus der Luft und für die Bildung von Nebeln die Anwesenheit feiner Staub- bezw. Kohlenteilchen in der Luft anzusehen ist. Jedes solche feine Staub- und Kohlenteilchen bietet dem Wasserdampf eine freie Oberfläche dar, wo er sich kondensieren kann. Je mehr also solche Staub- und Kohlenteilchen vorhanden sind, um so dichter muss auch der Nebel sein. In den Industrieplätzen ist deshalb auch der durch den Rauch bewirkte Nebel viel stärker als auf dem Lande und besonders ganz bedeutend stärker als in den Hochgebirgen oder auf hoher See. Wenn man also die lästigen Stadtnebel los werden will, so hat man zuerst darnach zu trachten, die Rauchplage in den Städten endgiltig zu beseitigen.

Prof. Aitken in Edinburg hat es unternommen, die Anzahl der Staub- und Kohlenteilchen zu ermitteln, die in einem bestimmten Volumen Luft enthalten ist. Er fand hiebei zum Teil ganz erschreckend hohe Zahlen. In London schwankte die Anzahl der in einem Kubikzentimeter Luft enthaltenen Kohlen- und Staubteilchen zwischen 160 000 und 210 000, in Paris zwischen 48 000 und 116 000 u. s. w. im Hochgebirge zwischen 141 und 381 und sank bei Messungen auf dem freien Ozean (atlant. Ozean) bis auf 72 — ein unübertroffenes Zeugnis für die Reinheit der Luft im Hochgebirge und vor allem auf hoher See.

Ein Charakteristikum der Stadtnebel besteht darin, dass sie noch in einer Atmosphäre weiter bestehen können, die lange nicht mehr gesättigt ist. Während in einem solchen Falle ein Landnebel sofort verschwindet, ist dies beim Stadtnebel nicht der Fall. Durch die Gegenwart von öligen Substanzen wird der Wasserdampf geschützt und seine Verdampfung noch lange hingehalten und wenn auch schliesslich das Wasser verdampft,

so ist doch immer noch der Russ und der Staub vorhanden. Es gelten daher die Nebel zugleich auch als eine Art Massstab über die jeweilige Reinheit der Atmosphäre. Wenn reiner Wasserdampf sich kondensiert, so entsteht ein weisser Nebel, ein sog. Land- oder Seenebel, und das weisse Licht wird dann nicht, wenn man durch den Nebel sieht, in ein rotes verwandelt. Im Stadtnebel jedoch verschwindet die weisse Farbe; er ist dunkel wegen den vielen Substanzen, welche die Luft enthält und infolge der unvollständigen Verbrennung der Kohlen. Der vor einiger Zeit von der Leitung der Berliner Sternwarte zurückgetretene Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Wilh. Förster, hat in Berlin während der letzten Jahre seiner Amtsführung mehrere Versammlungen zu freier Besprechung der Rauchfrage einberufen. Er wünschte einen Meinungsaustausch herbeizuführen, wie der Verunreinigung der Atmosphäre, namentlich der Verunreinigung durch Rauch, entgegenzutreten sei, da diese Verunreinigungen die Arbeiten der Sternwarte ganz erheblich beeinträchtigen. Jeder Stern, der im Fernrohr als leuchtender Punkt erscheint, dessen Durchgang durch den Meridianfaden im Passage-Instrument mit aller Schärfe beobachtet werden kann, verwandelt sich durch die Dazwischenkunft einer Rauchwolke in einen breiten hellen Fleck mit undeutlichen Rändern. Eine scharfe Beobachtung ist dann nicht mehr möglich und die Arbeit so mancher Nachtwache wird dadurch gestört oder vernichtet. Die letzte derartige Versammlung fand am 31. Januar 1903 im Kaiserl. Gesundheitsamte in Berlin statt. Der Reichsanzeiger vom 5. Februar 1903 brachte einen kurzen Bericht über diese Versammlung und die in derselben gemachten Vorschläge. Ein klares, positives Ergebnis hat aber diese Versammlung leider nicht gezeitigt.

Um die durch die Rauchplage hervorgerufene Belästigung durch die Stadtnebel richtig zu verstehen, dürfte es sich vielleicht empfehlen, die Entstehung eines solchen Nebels in einer grossen, viel Rauch produzierenden Stadt kurz etwas näher zu betrachten:

Die allgemeinen Bedingungen, welche die Entstehung des Nebels begünstigen, sind ruhige Luft, eine Temperatur, die am Boden niedriger ist, als in einer Höhe von etwa 100 m, vollständige oder doch nahezu vollständige Sättigung der Luft in

einem kleinen Abstande vom Boden und wolkenloser Himmel und infolgedessen eine vollständige ungehinderte Ausstrahlung von Bodenwärme in die Luft. Die unmittelbare Ursache eines Nebels ist jedoch gewöhnlich ein plötzliches und beträchtliches Sinken der Temperatur.

Es ist windstill: die nächtliche Wärmeausstrahlung hat den Boden abgekühlt und die kalten Luftschichten bleiben am Boden auf ihrem Platze liegen; sie sind sehr schwer und nichts bewegt sie. Ein weisser dünner Nebel breitet sich dann über der Stadt wie ein Mantel aus. Tausende von Feuern werden nun angezündet, die Schornsteine speien ihre Rauchmassen aus, die emporsteigen, sich ausbreiten, sich zerteilen und deren Kohlenteilchen sich mit den Wasserbläschen der Luft vereinigen. Dieser Wasserdampf wird dann gewissermassen sichtbar. Eine immer mehr und mehr mit Kohlenstäubchen gepolsterte Schicht breitet sich dann über die Häuser aus und hält das Licht der Sonne ab. Der aus Kohlenstaub und Wasserdampf bestehende Schirm verhindert, dass die Sonnenwärme bis zu den tiefsten Nebelschichten durchdringt und das Wasser zum Verdunsten bringt. Während die oberen Nebelschichten sich erwärmen, kühlen sich die unteren ab, sie fahren fort, Wärme auszustrahlen, ohne dafür Wärme zu empfangen.

Da die grossen Städte im Winter im allgemeinen immer um 1—2° Cels. wärmer sind als ihre Umgebung und somit immer ein wenig Eigenwärme besitzen, so folgt daraus, dass die Luft in Berührung mit der grossen Stadt stets etwas erwärmt wird und dadurch das Bestreben hat, langsam sich emporzuheben, worauf sie durch die kältere Luft der Umgebung, die von allen Seiten hinzuströmt, ersetzt wird. Durch diesen Vorgang kann unter Umständen der Stadtnebel plötzlich verscheucht werden. Wenn aber die erwähnte Nebelschicht bedeutend kälter ist, als die höheren etwa 100 m über dem Erdboden befindlichen Luftschichten, ein aufsteigender Luftstrom somit nicht entstehen kann, so kann der dunkle Nebel unter Umständen ausserordentlich dicht werden und den ganzen Tag über andauern, während die Umgebung vielleicht im hellsten Sonnenschein daliegt.

Dass solche durch die Rauchplage hervorgerufenen Stadtnebel nichts Angenehmes sind, wird wohl niemand bestreiten

können und es gibt viele Leute, die unter den Folgen eines solchen Nebels ungemein und zwar physisch wie psychisch, zu leiden haben. Dass diese lästigen Stadtnebel dem Gesundheitszustande nicht förderlich sein können, ist vor allem aus der oben geschilderten Entstehung eines Stadtnebels zu ersehen; durch die lichtabsorbirende Kraft des Nebels wird der Mensch zu einem Leben im Halbdunkel verurteilt und durch die mit Kohlenteilchen geschwängerte Luft wird der Atmungsprozess erschwert und das Blut des Menschen verschlechtert.

Die zerstörende Einwirkung des Stadtnebels auf die Pflanzen lässt sich leichter konstatieren als die Einwirkung auf die Menschen und Tiere. Zweierlei Wirkungen sind hier zu beobachten: eine indirekte und eine direkte. Indirekt durch die Verringerung des Tageslichts, wodurch die Transpiration aufgehalten wird; die Pflanzen befinden sich dann in einem Zustand der Überwässerung, was als bekannte Folge das Abfallen der Blätter hat. Die direkte Wirkung für die verschiedenen Pflanzen ist verschieden und dürfte vorzugsweise der durch den Kohlenrauch in die Atmosphäre gelangten Schwefelsäure zuzuschreiben sein.

Es muss daher jeder Versuch, die Rauchplage zu beseitigen, von der Wissenschaft begrüsst und unterstützt werden.

Die Rauchplage in dem Sinne, wie wir sie heute verstehen, d. h. die moderne Rauchplage begann erst mit der Einführung der Steinkohle als Brennmaterial. Im alten Rom soll zwar auch schon die Rauchplage eine gewisse Rolle gespielt haben. Die alten Römer hatten nämlich die Gepflogenheit, den frisch bereiteten Käse zu räuchern, sei es, dass sie den Rauchgeschmack liebten, sei es, dass sie dem Käse eine goldgelbe Farbe zu geben wünschten, oder dass sie ihn dadurch haltbarer zu machen suchten. Bei ihren primitiven Einrichtungen verbreitete sich jedoch der Rauch durch alle Geschosse hindurch und über die Nachbarschaft. Obgleich die Anwohner nicht wussten, was Rauch ist, so empfanden sie doch deutlich, dass in der Luft etwas Fremdes, ihnen Unangenehmes war und nannten es eine Immission. Die gerichtlichen Klagen gegen die Rauchplage hatten Erfolg, indem die römischen Richter Alfenus, Pomponius und Aristo entschieden, dass die Immission von Rauch zu verbieten sei. Der in dieser Entscheidung ausgesprochene aërolo-

gische, d. h. luftrechtliche Grundsatz*) ist durch die i. J. 1852 vom Preuss. Obertribunalgericht geschaffene sog. Immissionstheorie durch § 906 des Bürgerl. Gesetzbuches am 1. Januar 1900 im Deutschen Reiche Gesetz geworden.

§ 906 des B. G. B. besagt: „Der Eigentümer eines Grundstückes kann die Zuführung von Gasen, Dämpfen, Gerüchen, Rauch, Russ, Wärme, Geräusch, Erschütterungen und ähnliche von einem anderen Grundstück ausgehende Einwirkungen insoweit nicht verbieten, als die Einwirkung die Benützung seines Grundstücks nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt oder durch eine Benützung des anderen Grundstücks herbeigeführt wird, die bei den örtlichen Verhältnissen bei Grundstücken dieser Lage gewöhnlich ist. Die Zuführung durch eine besondere Leitung ist unzulässig."

Also nur gegen besondere Zuleitungen von Gerüchen, Dämpfen, Rauch u. s. w. sind wir in Deutschland geschützt. Ein eigentliches Rauchgesetz besitzen wir noch nicht.

Es ist einleuchtend, dass besonders in dem Lande, in dem von jeher die Steinkohlen eine grössere Bedeutung als bei uns spielten, nämlich in England, schon seit langer Zeit ein grosses Bestreben vorhanden war, Mittel gegen die lästige Rauchplage ausfindig zu machen. Unter der Regierung der Königin Elisabeth sollen die Grobschmiede in London gezwungen worden sein, ihr Gewerbe nach ausserhalb der Stadt zu verlegen, weil sie mit Hilfe von Steinkohlen bei ihrem Betriebe einen unerträglichen Rauch und Russ verursacht haben sollen.

Mit der Einführung des Rostes für Steinkohlenfeuerungen wurde es zwar besser, allein es dauerte sehr lange, bis man das richtige Verhältnis zwischen der Grösse der Rostfläche und der Menge der darauf zu verbrennenden Steinkohle herausgefunden hatte. Als mit der Einführung der Dampfmaschinen die Zahl der Feuerstellen wuchs, vermehrten sich auch die Klagen über die zunehmende Rauchbelästigung, besonders in London.

---

*) Nach Dr. Jurisch, Prof. für Aerologie an der Techn. Hochschule in Charlottenburg, im Gew.-Techn. Ratgeber 1906 H. 20, dem diese und einige andere Notizen entnommen sind.

Die englische Gesetzgebung packte diese Frage sehr energisch an. In dem Gesetz betr. die Wasserversorgung der Stadt Huddersfield vom Jahre 1827 wurde zum erstenmal vorgeschrieben, dass die besten bekannten Mittel angewendet werden sollen, um die Verunreinigung der Luft durch Rauch zu verhüten. Daraus entwickelte sich die Klausel von den besten praktischen Mitteln, die als ausserordentlich wirksam in vielen späteren Gesetzen wiederkehrte.

Da die Abstellung der Rauchplage immer dringender wurde, so beauftragte das Haus der Gemeinen in den Jahren 1843 bis 1845 einen Ausschuss mit dem Studium dieser Frage. Der Bericht der Kommission erschien im Jahre 1846 als „Smoke Prohibition Report." Er verlangte die Rauchverbrennung, so weit sie praktisch möglich sei. Deshalb schrieb das Allgemeine Städtehebungsgesetz (Towns improvement Clauses Act) vom Jahre 1847 die Rauchverbrennung bis zur technisch möglichen Grenze vor.

Trotzdem wurde die Rauchplage immer ärger. Man griff nun nach dem russischen Vorbilde und suchte durch unerhörte Strafen eine Reinigung der Luft zu erzwingen. Durch den Smoke Nuisance Abatement Act vom Jahre 1848 und noch schärfer durch den Smoke Prevention Act vom Jahre 1853 wurden nicht nur die Anwendung der besten praktischen Mittel vorgeschrieben, sondern die Strafen für jeden rauchenden Schornstein wurden bei jeder folgenden Bestrafung doppelt so gross, als bei der vorhergehenden.

Die englischen Richter wagten es jedoch nicht, dieses Gesetz mehr als höchstens 2—3 mal für denselben Schornstein anzuwenden, weil sie die Industrie, die Nährmutter des englischen Volkes, nicht aus dem Lande treiben wollten. Deshalb nützte es wenig, dass das Rauchverhinderungsgesetz vom Jahre 1853 mit Übergehung zahlreicher anderer Gesetze in dem Public Health Act vom Jahre 1891 seine schärfste Fassung erhielt.

Die Beseitigung der Rauchplage war also, wie es sich zeigte, durch Gesetze nicht zu erzwingen, sondern konnte nur von der Entwicklung der Technik erhofft werden.

Zur Beseitigung der Rauchplage und zugleich zur Wiedergewinnung der durch den Rauch verloren gegangenen Kohlenmenge, schlug der englische Physiker Lodge im Jahre 1895 vor, den Rauch im Schornstein zwischen 2 mit Spitzen versehenen Metallplatten hindurchstreichen zu lassen, welche mit einer Dynamo-Wechselstrom-Maschine in Verbindung stehen. Wird die Verbindung der Platten mit der Elektrizitätsquelle hergestellt, so wird der Rauch von den Platten angezogen und der Kohlenstaub schlägt sich dann in dichten Massen an den Platten nieder. Durch dieses Verfahren hoffte Lodge die Rauchplage beseitigen und eine gewaltige Menge des sonst verloren gegangenen Kohlenstaubes wieder gewinnen zu können. Für London erhoffte Lodge durch sein Verfahren einen jährlichen Anfall von mindestens 900000 Zentnern Kohlen. Leider haben sich die Versuche von Lodge in der Praxis nicht bewährt und sein Verfahren ist in Vergessenheit geraten.

Auf Grund der Erkenntnis, dass die Beseitigung der Rauchplage nur von der weiteren Entwicklung der Technik erhofft werden könne, vereinigten sich die hervorragendsten Interessenten und Sachverständigen Englands unter Lord Egerton zu einem Ausschusse, um zu prüfen, ob mit den seither bekannten Mitteln die Rauchplage zu beseitigen sei. Der Bericht des Ausschusses erschien im Jahr 1895. Der Ausschuss hat in überaus mühsamen Versuchen die bis dahin üblichen Dampfkessel, Feuerungssysteme und Brennmaterialien und ihre Leistungen untersucht und die Ergebnisse in grossen Tabellen übersichtlich dargestellt.

Das Ergebnis der mühsamen Untersuchung war nicht sehr erfreulich. Man hatte festgestellt, dass die Entwicklung des schwarzen Rauches während kurzer Zeit nach dem Aufwerfen der frischen Kohlen nicht ganz zu vermeiden sei, dass aber diese Periode durch sorgfältige Bedienung des Feuers sich auf die Dauer von weniger als 5 Minuten beschränken lasse.

Wenn also die Entwicklung von dickem schwarzen Rauch länger als 5 Minuten anhielt, so durfte man als erwiesen annehmen, dass nicht die besten praktischen Mittel benützt wurden und dass somit ein Verstoss gegen das Rauchverhinderungsgesetz vorlag. Die Dauer der Entwicklung von dickem schwarzen Rauch wurde auf 2—3 Minuten eingeschränkt. Die übrige Zeit

einer Feuerungsperiode, bis wieder frische Kohlen aufgeschüttet wurden, verteilte sich auf die Stufen des mittelstarken und schwachen Rauches und des rauchfreien Zustandes. Bei kontinuierlicher Zuführung von Steinkohlen durch mechanische Vorrichtungen hielt die Rauchentwicklung in wechselnden Intensitäten an. Wollte man freilich durch überreiche Zuführung von frischer Luft rauchfreie Schornsteingase erzwingen, so wurde Kohlenstaub mitgerissen. Die einzelnen Kohlenteilchen überzogen sich hiebei mit kondensirtem Teer und in der Nachbarschaft fiel ein Staub, dessen Teilchen sich bei der Berührung verschmierten und dadurch sehr lästig wurden.

In Deutschland kam man im Wesentlichen zu demselben Resultat. Gegenüber mässiger Belästigung durch den Rauch besitzen wir nur den allgemeinen Schutz des § 906 des B. G. B. Ausserdem wird bei der Genehmigung von Dampfkesselanlagen die gewerbepolizeiliche Anforderung erhoben, dass nur solche Mittel zur Anwendung kommen dürfen, welche die Rauchentwicklung auf das kleinste erreichbare Mass beschränken. Mit dem kolossalen Anwachsen der Industrieplätze hat sich auch bei uns naturgemäss die schon von jeher empfundene Rauchbelästigung durch die Schlöte der Betriebsstätten in ganz bedenklichem Masse gesteigert. Die Frage, wie diesem Übelstande zu steuern sei, ist auch bei uns schon lange zu einer öffentlichen geworden. Um die Rauchfrage, ähnlich wie England, zu studieren, veranlasste der preuss. Minister für Handel und Gewerbe „Untersuchungen zur Prüfung von Einrichtungen und Feuerungen zur Rauchverminderung bei Dampfkesseln", welche im November 1899 zum Abschluss gelangten. Es wurden 22 verschiedene rauchschwache Kesselfeuerungen geprüft. Als Ergebnis der Arbeiten wurde dem Herrn Minister empfohlen, ein Verbot des anhaltenden dicken schwarzen Rauches aus Schornsteinen zu erlassen. Zu einem derartigen Eingreifen schien aber dem Minister die Zeit noch nicht gekommen; dagegen ordnete er wenigstens am 5. Februar 1901 an, dass die fiskalischen Feuerungsanlagen die Entwicklung von Rauch möglichst vermeiden sollten.

In den fachtechnischen Berichten über die Versuche von 1899 wurde versucht, die Entwicklung von mässigem Rauch zu

rechtfertigen, da sie bei wirtschaftlicher Ausnützung des Brennstoffes nicht zu vermeiden sei. Da die Erfahrungen in England und in Deutschland gelehrt hatten, dass eine gute Feuerungsanlage nur dann ihren Zweck erfüllt, wenn sie von einem erfahrenen, geschickten und pflichttreuen Heizer bedient wird, so hat die Regierung gern ihre Hand geboten, um Heizerschulen und Heizerkurse einzurichten. Solche Heizerkurse mit staatlicher Unterstützung sind in Preussen an einer Reihe von Orten eingerichtet worden, z. B. in Berlin, Magdeburg, Stettin, Danzig, Königsberg, Memel, Hannover, Aachen, Bromberg u. s. w.

Die Ältesten der Kaufmannschaft von Berlin sind inzwischen auch der Rauchfrage näher getreten, hielten aber in ihrem Jahresbericht von 1901 die Sachlage noch nicht für genügend geklärt, um bestimmte Vorschläge zu machen. Auch der Verein deutscher Ingenieure hat sich eingehend mit der Rauchfrage beschäftigt, ohne jedoch zu anderen Ergebnissen als den schon erwähnten zu gelangen und noch in der Vereinssitzung vom 2. März 1904 suchte der Ingenieur Haier die Entwicklung einer gewissen Rauchmenge als wirtschaftlich notwendig nachzuweisen.

Mit den bisher üblichen raucherzeugenden Feuerungen sind nämlich auch sehr grosse wirtschaftliche Interessen verknüpft. Die Kesselschmieden und besonders zahlreiche Maschinenfabriken sind auf ihre Herstellung eingerichtet und zahllose Patente auf Rostkonstruktionen, Herdeinrichtungen und Schürmethoden bergen die Hoffnungen ihrer Inhaber.

Keine einzige der seither bekannten mechanischen Schürmethoden, die das frische Brennmaterial von oben her zuführen, liefert jedoch rauchfreie Verbrennungsgase. Es ist dabei ganz gleichgiltig, wie die Roste gestaltet sind, ob sie fest liegen oder ob sie oszillieren, ob sie kippen, sich drehen oder verschieben, oder ob sie irgend sonstwie beweglich sind.

Das Problem einer rauchfreien Feuerung, welche zugleich auch bei absoluter Betriebssicherheit den Vorzug höchsten wirtschaftlichen Nutzeffektes verbindet, hat erst durch die Erfindung des Ingenieurs Carl Wegener in Charlottenburg seine vollkommene

Lösung gefunden. Das neue, im In- und Ausland durch eine ganze Reihe von Patenten in umfassender Weise geschützte Feuerungsverfahren löst die Rauchfrage im vollen Sinne des Wortes.

Ehe ich jedoch auf dieses neue, hochwichtige, automatische und rauchfreie Feuerungsverfahren genauer eingehe, möchte ich zuerst die wissenschaftliche Seite des Verbrennungsvorganges bei festen Heizstoffen kurz berühren.

Die Leistung einer Kesselfeuerung wird, nach Prof. Dr. Albano Brand an der Techn. Hochschule in Charlottenburg, an dem Grade der Ausnützung des Brennmaterials gemessen. Aus jedem Brennstoffe kann nämlich eine bestimmte Energiemenge als Wärme entbunden werden, die dann weiterhin, z. B. in der Dampfmaschine, in mechanische Arbeit umgesetzt werden kann.

Von den gewöhnlichen Kesselkohlen, die verfeuert werden, liefert im Durchschnitt ein Kilogramm etwa 7500 Wärmeeinheiten, d. h. mit 1 kg Kohle können 7500 kg Wasser um 1 ° Cels. oder $\frac{7500}{100}$ = 75 kg Wasser um 100 ° Cels., oder $\frac{7500}{637}$ d. h. annähernd 11,8 Kilogramm Wasser in Dampf von 1 Atmosphäre Spannung (1 kg Druck auf 1 Quadratzentimeter Fläche) verwandelt werden, vorausgesetzt, dass sämtliche entwickelte Wärme in das Wasser übergeführt wird. Dies ist indessen keineswegs zu erreichen, es gibt verschiedene unvermeidliche Verlustquellen für die Wärme und diese auf ein Mindestmass herunterzubringen, ist das Charakteristikum einer guten Feuerung.

Zum Beweise, wie gross die Verluste an Wärme sind oder umgekehrt, wie gering der davon nutzbar gemachte Teil sein kann, brauche ich nur auf die Dampfmaschine hinzuweisen. In dem ganzen System Dampfkessel — Dampfmaschine repräsentiert das tatsächlich nutzbar gemachte Arbeitsquantum allerhöchstens 12—13 Prozent der in dem benutzten Brennstoff enthaltenen und als Wärme freigemachten Energie.

Nach Ingenieur Vater ist der wirtschaftliche Wirkungsgrad der verschiedenen Motoren nach den seither gemachten Erfahrungen aus folgender Tabelle ersichtlich:

Art der Maschine	Brennstoff-Verbrauch pro 1 HP Stde.	Heizwert von { 1 kg / 1 cbm Brennstoff	daher Wärmeverbrauch (W.E.) für 1 HP Stde.	Wirtschaftlicher Effekt
Dampfmaschinen	Steinkohle	pro 1 kg		
kleine, weniger gute Ausführung	5 kg	7500 W.E.	37500 W.E.	1,7 %
grosse beste Ausführung	0,7 „	7500 „	5250 „	12 %
Gasmaschinen	Leuchtgas	pro 1 cbm		
kleine	0,7 cbm	5000 W.E.	3500 W.E.	18 %
grosse	0,45 „	5000 „	2250 „	28,3 %
höchster erreichter Wert	0,385 „	4700 „	1800 „	35,3 %
Petroleummaschinen	Petroleum	pro 1 kg		
gewöhnliche	0,5 kg	10500 W.E.	5250 W.E.	12,1 %
höchster erreichter Wert	0,197 „	„ „	2068 „	31,8 %
Dieselmotor	0,238 „	„ „	2500 „	25,5 %
Benzinmotoren	Benzin	pro 1 kg		
kleine	0,45 kg	10500 W.E.	4725 W.E.	13,5 %
grosse	0,35 „	„ „	3675 „	17,4 %

Zum Verständnis dieser Tabelle sei bemerkt, dass eine Stunden-Nutzpferdekraft einer in nutzbare Arbeit umgesetzten Wärmemenge von $\frac{75.60.60}{424}$ = 637 W.E. (Wärmeeinheiten) entspricht, wobei berücksichtigt ist, dass 1 Pferdekraft der Arbeitsleistung entspricht, die nötig ist, um in 1 Sekunde 75 Kilogramm einen Meter hoch zu heben und dass eine Wärmeeinheit = 424 Kilogrammmeter ist, d. h. der Arbeit entspricht, die nötig ist, um 424 kg 1 m hoch zu heben. Wenn also eine unserer besten Dampfmaschinen für eine Pferdekraft stündlich 5250 Wärmeein-

heiten anstatt nur 637 Wärmeeinheiten beansprucht, so ist ihr wirtschaftlicher Wirkungsgrad $= \frac{637.100}{5250} = 12$ Prozent.

Dieser überraschend geringe Nutzeffekt auch unserer besten Dampfmaschinen ist zum weitaus grössten Teil durch die Eigenart der Dampfmaschine bedingt, weshalb auch die Techniker so sehr darauf aus sind, diese los zu werden. In dem System Dampfkessel-Dampfmaschine schneidet dabei der Dampfkessel noch sehr gut ab. Bei den besseren Dampfkesselanlagen kann 1 kg Kohle etwa 8 kg Wasser in Dampf verwandeln, was bei einem Heizwert der Kohle von 7500 W.E. (Wärmeeinheiten) gemäss obigem einem Nutzeffekt von $\frac{8}{11.8}$ oder annähernd 68 Prozent entspricht. Nach Luegers Lexikon der gesamten Technik kann dieser Nutzeffekt höchstens bis 80 Prozent gesteigert werden, sinkt aber auch bei gewissen Anlagen oft auf 50 Prozent und noch niedriger. Die seither besten bekannten Kesselanlagen geben also durchschnittlich höchstens 80 oder nur wenige Prozent darüber der aus der Kohle entbundenen Wärme an den Dampf ab und die höchste bis jetzt erreichte Leistung von 90 Prozent im Durchschnitt wird gerade bei Anwendung derjenigen Feuerung erreicht, die zugleich auch rauchlos ist, nämlich bei der nachher noch näher zu untersuchenden Wegener-Feuerung.

An eine gute Dampfkesselfeuerung stellt man heutzutage eine ganze Reihe von Anforderungen. Von hygienischer Seite wird allerdings nur verlangt, dass sie rauchlos arbeiten soll, von technischer Seite dagegen, dass sie den Brennstoff möglichst vollständig verbrennen, einen möglichst hohen Wirkungsgrad (Effekt) besitzen und dass sie sich den wechselnden Anforderungen des Betriebs möglichst anpassen soll. Sie soll also nicht nur bei normaler Leistung gut funktionieren, sondern sie soll sich sowohl mässigen, also auch besonders forcieren lassen, ohne zu rauchen oder in ihrem Wirkungsgrade nachzulassen.

Die Eigenschaften und das Verhalten grosser Feuerungen sind bis zu einem gewissen Grade schon an dem Wesen unserer gewöhnlichen Leuchtflammen zu begreifen. Eine Petroleumflamme in freier Luft brennt unruhig, trübe und sondert Russ ab. Dies wird noch besonders gefördert durch die Berührung mit kalten

Flächen, etwa mit einem Porzellanteller wodurch die Flamme abgekühlt wird. Sauersoff ist zwar in der Umgebung genug vorhanden, aber er wird der Flamme nicht zugeführt. Wird dagegen der Zug eines Schornsteins angewandt — nämlich des Lampencylinders — so brennt die Flamme ruhig und klar und zwar um so besser, je mehr die Brennerkonstruktion (Flachbrenner, Rundbrenner) die Mischung mit der Luft befördert. Wird jedoch der Flamme mehr Nahrung zugeführt, als dem verfügbaren Luftquantum entspricht, so beginnt selbst in dem heissen Cylinder die Russbildung von neuem. Ist aber der Russ einmal aus der Flamme ausgeschieden, so hilft keine Luft mehr zu seiner Verbrennung, es müsste denn der Russ aufs neue in Weissglut gebracht werden.

Das öffentliche Geheimnis der vollkommenen Rauchverbrennung besteht also darin, dass die Rauchgase in einem freien Raum innig mit der genügenden Luftmenge gemischt werden müssen und dass das Gemenge eine so hohe Temperatur besitzen muss, dass die Verbrennung momentan vor sich gehen kann.

Als Ursachen der Rauchbildung sind nach Luegers techn. Lexikon im allgemeinen immer die 4 folgenden Punkte anzusehen:

1. plötzliche und massenhafte Vergasung der in der Kohle enthaltenen Kohlenwasserstoffe (Bitumen), so dass die durch den Rost eintretende Luft zur Verbrennung nicht mehr ausreicht,
2. Temperaturmangel und Unmöglichkeit der Entzündung infolge der zu weit abgebrannten Kohle auf dem Roste und zu weit gehender Abdeckung des Rostes der Glut, zu welcher Fahrlässigkeit gewöhnlich eine zu grosse Rostfläche verleitet. Bei einer mittleren Temperatur verbrennt oft von den vergasten Kohlenwasserstoffen der leichter entzündliche Wasserstoff allein und der Kohlenstoff bleibt in feinsten Partikelchen übrig, die sich zu den bekannten Russflocken zusammenballen. Es ist daher zwischen Rauch und Russ wohl zu unterscheiden.
3. Ungenügende Mischung der entstehenden Verbrennungsgase.

4. Ungenügende Zeit zur Verbrennung der benötigten Kohlenmenge oder mit anderen Worten, zu schwacher Zug oder zu kleine Rostfläche.

Werden diese 4 Punkte bei Abmessung der Rost- und Zugverhältnisse und bei der Bedienung gebührend berücksichtigt, so ist jeder Heizer in der Lage, mit jeder gewöhnlichen Planrostfeuerung einen belästigenden Grad des Rauches zu vermeiden. Aber die fortwährend dazu erforderlichen Beobachtungen und die richtige Beurteilung der Verhältnisse und Vorgänge, die fortwährende Veränderung der Luftmenge nach den entstehenden Rauchgasmengen derart, dass auch kein schädlicher Luftüberschuss entsteht, ist eine Aufgabe, der kein Heizer, überhaupt kein Mensch so leicht gewachsen ist.

Die einfachste aller existierenden und denkbaren Feuerungseinrichtungen, die wohl nie durch andere Einrichtungen ganz verdrängt werden wird, ist die Planrostfeuerung, bei welcher, wie es schon der Name sagt, der Rost eine ebene (plane) Fläche bildet und wagrecht oder nahezu wagrecht liegt. Liegt dabei die Feuerung vor dem Ofen, so heisst sie Planrost-Vorfeuerung, liegt sie unter dem Ofen, so heisst sie Planrost-Unterfeuerung, ist sie in den Ofen eingebaut, so heisst sie Planrost-Innenfeuerung und ist sie zwischen zwei Kesselteilen angeordnet, so heisst sie Planrost-Zwischenfeuerung. Diese Planrost-Feuerungen, so beliebt sie sind, besitzen jedoch eine Reihe von Nachteilen: 1) die Beschickung mit frischem Brennstoff findet nicht regelmässig, sondern nur zeitweise statt, wodurch starke Schwankungen in der Wärmeerzeugung und Temperatur, Verluste an brennbaren Gasen und bereits erzeugter Wärme, Entwicklungen von Rauch, Russ u. s. w. entstehen. 2) Die Arbeit des Beschickens und Abschlackens muss bei geöffneter Feuertür ausgeführt werden, wodurch eine Unterbrechung der Verbrennung und eine unvermeidliche Abkühlung der Feuerung entsteht. 3) Die Arbeit des Beschickens und Abschlackens ist schwierig, für die Heizer anstrengend und für den Besitzer mit fortwährenden Kosten verknüpft. 4) Die Verbrennung bedarf einer beständigen Beobachtung und sachgemässen Behandlung, ihr wirtschaftlicher Erfolg ist von dem Fleiss, der Aufmerksamkeit, den Fähigkeiten und dem guten Willen des Heizerpersonals abhängig.

5) Die Verbrennung kleiner griesiger Kohle bietet auf dem Planroste Schwierigkeiten, indem solche Kohle dicht und fest liegt, die Luft nicht hindurch lässt und mindestens eines verstärkten Zuges bedarf. 6) Von solcher Grieskohle fällt zu viel durch die Rostplatten hindurch. 7) Es lässt sich vorerhitzte Verbrennungsluft nicht anwenden, weil durch diese die Roste zerstört würden. Ein weiterer Hauptnachteil besteht bei allen Planrostfeuerungen darin, dass 8) weit mehr Luft verbraucht werden muss, um eine vollständige Verbrennung der Kohle zu erzielen, als theoretisch notwendig erscheint.

Unter vollständiger Verbrennung ist hier nicht nur die Oxydierung sämtlicher brennbarer Bestandteile des Brennstoffes zu verstehen, sondern vor allem die Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure und nicht zu Kohlenoxyd. Im ersteren Falle liefert das Kilogramm Kohlenstoff einen absoluten Wärmeeffekt von 8080, in letzterem nur von 2473 Wärmeeinheiten. Die grösste Menge Luft, — oft weit mehr als das Doppelte des erforderlichen Quantums — wird vom Schornstein durch den Rost gezogen, wenn das Feuer durchgebrannt ist; weniger nach frischer Beschickung, wenn die Kohlendecke dichte liegt. Die Rauchbildung ist also bei allen Planrostfeuerungen mit der Art der Beschickung eng verbunden. Das durchgebrannte Feuer brennt rauchlos; sobald aber frische Kohlen darüber gebreitet werden, fangen diese an, ihre Destillationsprodukte abzugeben, während zugleich die Temperatur sich aus verschiedenen Gründen erniedrigt. Erstens veranlasst das Offenhalten der Feuertür während der Beschüttung eine Abkühlung der Feuerung und der ganzen Heizkanäle; zweitens wirkt die aufgeworfene Kohle direkt abkühlend und drittens erfordert die Entgasung als chemischer Vorgang erhebliche Mengen von Wärme. Also gerade dann, wenn die auch bei der Leuchtgasbereitung auftretenden Bestandteile: Teer, Kohlenwasserstoffe und freier Wasserstoff, also die wirksamsten, flammengebenden Bestandteile der Kohle, in Mengen auftreten, fehlt es vielfach an Luft und an der nötigen Temperatur zu ihrer Verbrennung oder doch zu ihrer vollständigen Verbrennung und überdies wird dieselbe noch durch die kühle Fläche des Feuerrohrs ungünstig beeinflusst. Beim Zerfall des Teers und der schweren Kohlenwasser-

stoffe bildet sich hauptsächlich der Russ, welcher dem Schornstein als eine dunkle Wolke entquillt.

Die direkte Folge für den Nutzeffekt, wenn die beiden Hauptmängel: Abkühlung der Feuerung und Luftüberschuss sich geltend machen, ist Entweichen unverbrannter Teile des Brennstoffs in den Rauchgasen und das Auftreten von überschüssigem Sauerstoff nebst dem dazugehörigen Stickstoff in denselben.

Durch Verbesserung der Roste hat man versucht, diesen Übelständen abzuhelfen, z. B. durch Einführung der Kettenroste, die aus vielen nebeneinander liegenden Gelenkketten ohne Ende bestehen, die sich beständig über 2 Haspeln bewegen und oben die Kohlenschichte tragen. Diese Kohlenschichte wandert also gleichmässig von vornen nach hinten und verbrennt inzwischen. Der Nachteil besteht jedoch hier darin, dass wegen der vielen Gelenke der Rost immer bald in Unordnung kommt. Die Schrägrostfeuerungen haben den Nachteil, dass die glühenden Kohlen allmählich nach unten zusammengeschoben werden und die frische Kohle durch die von ihr abgewendete Flamme nur wenig Gelegenheit zur Entzündung findet und im Allgemeinen zu langsam anbrennt. Die backenden Kohlen bilden einen festen Klumpen, der plötzlich zusammenbricht wodurch der ganze Rost mit frischer Kohle überschüttet wird und hiebei dieselben Übelstände in oft noch ärgere als beim Planrost auftreten. Auch die Ten-Brink-Feuerung mit sog. Gegenbrennern, die Donneley-Feuerung mit nahezu senkrechten Rosten und die Treppenroste, die den besonderen Nachteil besitzen, dass die Stäbe in der Glut fast wie in einem Schmiedefeuer stecken und dem Verbrennen stark ausgesetzt sind, haben sämtlich nicht die gewünschten Wirkungen gezeigt.

Von den sonstigen Verbesserungsvorschlägen möchte ich nur noch einen erwähnen. C. W. Stauss in Berlin hat vor etwa 10 Jahren vorgeschlagen, die Verbrennung der Destillationsprodukte dadurch zu bewirken, dass man Sekundärluft bezw. genauer ausgedrückt, Strahlen heisser Luft zuführt, welche aus der Oberseite der Feuerbrücke senkrecht zum Strom der Feuergase austritt und eine innige Mischung mit diesen bewirkt. Bei der nachher zu besprechenden Wegener-Feuerung genügt für denselben Zweck jedoch kalte Luft. Die nach dem Stauss-

Automatische und rauchlose Stückkohlenfeuerung

(Patente Carl Wegener)

in der

Lagerbierbrauerei des Herrn Kommerzienrats Georg Haase, Breslau.

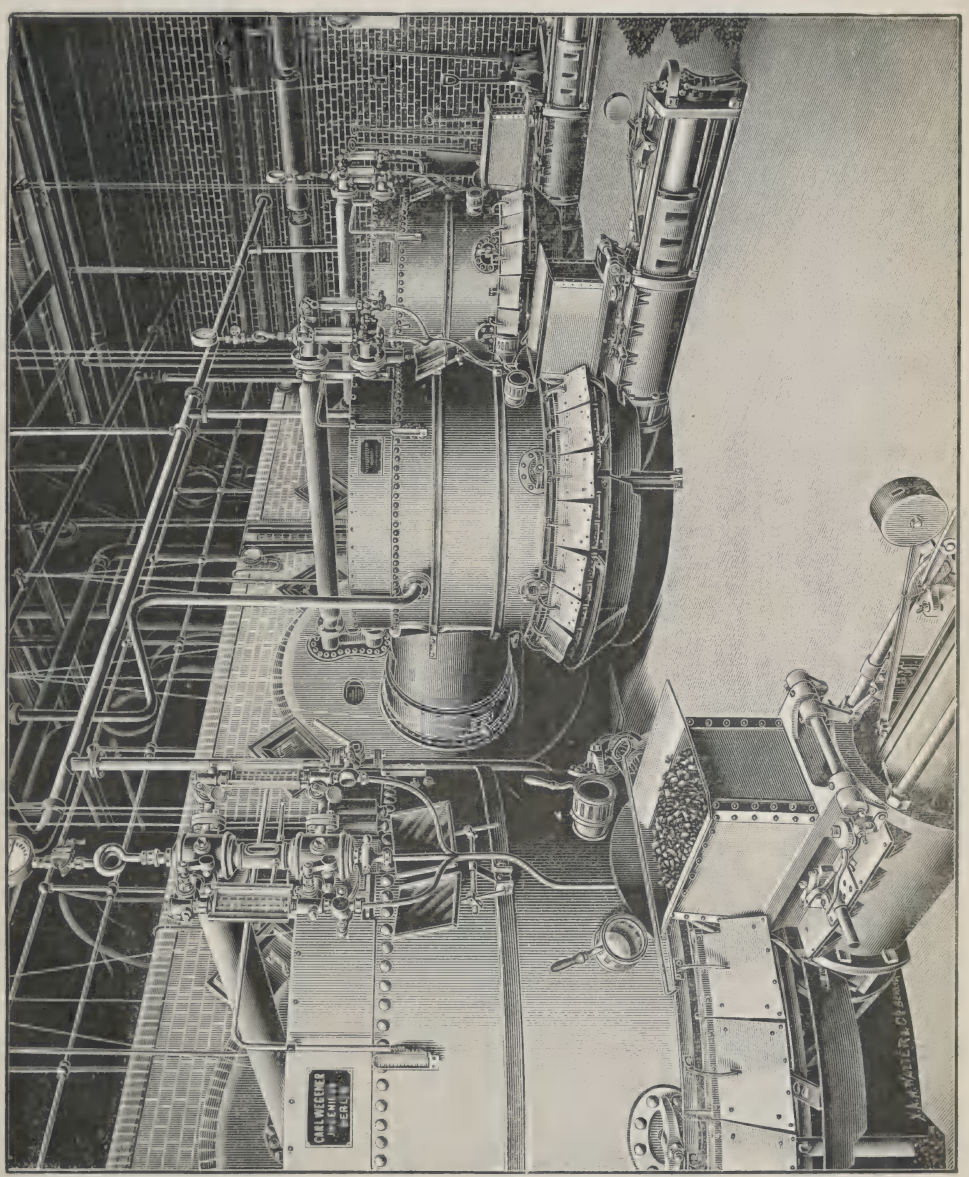


Fig. 3

schen Verfahren angestellte Versuche sollen befriedigende Ergebnisse geliefert haben. Der Gebrauch eines überschüssigen Luftquantums ist aber auch hier nicht zu vermeiden. Aber was hier durch kostspielige bauliche und maschinelle Einrichtung erreicht wird, kann man auch bei den primitivsten und billigsten Herden erreichen, wenn der Heizer sie zweckmässig bedient. Eine alte Beschickungsregel lautet: „Den frischen Brennstoff auf den vorderen Teil des Rostes aufhäufen, ihn abgasen und verkoken lassen und ihn vor der nächsten Beschickung über den ganzen Rost hinweg ausbreiten". Beim Ausbreiten entsteht jedoch meistens sehr viel Rauch, da in der verfügbaren Zeit ein Durchglühen der Kohle bis innen hinein nicht möglich ist; ferner hat der Heizer die doppelte Arbeit, es steht längere Zeit die Türe offen und die Leistung des Rostes ist eine geringere, schon wegen der langsameren Entzündung.

In den 70er und 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts warfen die erfahrendsten Heizer die frische Kohle abwechselnd immer nur auf eine Seite des brennenden Kohlenkörpers. Die durch den Rost ziehende Luft sucht sich bekanntlich stets den Weg, auf dem sie die geringsten Reibungswiderstände findet, hier also diejenige Seite des Rostes, auf der die niederbrennende glühende Kohlenschichte freiliegt. Hatte man z. B. die frische Kohle auf die linke Seite aufgeworfen und dadurch dort den Luftdurchgang erschwert, so strömte die Luft um so reichlicher durch die rechte Seite des Rostes. Die Verbrennung wurde hier sehr lebhaft und zwar gleich vollständig zu Kohlensäure, während die überschüssige Luft zu heller Rotglut erhitzt und dadurch befähigt wurde, die Produkte der trockenen Destillation von der linken Seite zu verbrennen. Leider wurden bei diesem Verfahren die Feuerröhren und dadurch die Dampfkessel selbst wechselnden Spannungen ausgesetzt, die ihrer Haltbarkeit nicht zuträglich waren. Eine viel bessere und zwar die vollkommenste aller bis jetzt für Handfeuerungen bekannten Schürmethoden ist die von Adolf Lov in Berlin, die er i. J. 1899 in einem besonderen Werkchen beschrieben hat. Wenn bei irgend einer Feuerung die Zufuhr frischen Brennmaterials nötig wird, so schiebt er zunächst die oberen glühenden Kohlen nach der Feuerbrücke zu und wirft die frischen Kohlen nur auf den vorderen

Teil des Rostes. Vor der Feuerbrücke bleibt eine niedrige Zone glühender Kohlen stets frei von frischen Kohlen. Dadurch geht hier die meiste Luft durch, erhitzt sich zu heller Rotglut und wird dadurch geeignet, die Produkte der trockenen Destillation aus dem vorderen Teile des Rostes zu verbrennen. Aber selbst diese vollkommenste und doch einfachste und natürlichste aller Schürmethoden hat eben 2 Nachteile, die allen Handfeuerungen anhaften: 1) Der Kohlenkörper auf dem Rost muss mindestens 2 mal im Tage entschlackt werden, wodurch die gewünschte Anordnung gestört wird. Um sie wieder herzustellen, ist etwas mehr Kohle erforderlich und das Ergebnis ist Schornsteinrauch. Ausserdem muss 2) die Feuertüre geöffnet werden; es strömt kalte Luft ein, die Feuerrohre und damit die Dampfkessel selbst werden häufig abwechselnder Zusammenziehung und Ausdehnung ausgesetzt, die Dampfkessel leiden darunter und die Dampfkesselfabrikanten dürfen baldiger Nachbestellung entgegensehen.

Alle die seitherigen Übelstände und vor allem die Rauchplage werden durch die, durch 7 deutsche Reichs-Patente aus den Jahren 1900 und 1901 geschützte Wegener-Feuerung beseitigt, welche, wie schon früher erwähnt, bei absoluter Rauchfreiheit zugleich mit grosser Betriebssicherheit den Vorteil höchsten wirtschaftlichen Wirkungsgrades verbindet.

Das Charakteristische der Wegener Feuerung besteht in der automatischen Beschickung des kegelförmig gebildeten Rostes von unten her. Die Einrichtung ist derart getroffen, dass der Nachschub des frischen Brennstoffs sich unter der brennenden Kohlenschicht vollzieht. Eine Unterbrechung des Verbrennungsprozesses, wie sie bei gewöhnlichen Feuerungen durch das Aufschütten neuen Brennstoffes herbeigeführt werden muss, ist bei der eigenartigen Wegener'schen Beschickungsweise vollständig ausgeschlossen. Die frische Kohle kommt bei dieser Feuerung niemals mit den Feuergasen in Berührung. Die durch trockene Destillation entstehenden Dämpfe müssen stets durch eine Schichte nahezu weissglühender Kohlen hindurchstreichen und gehen dabei vollständig in Kohlensäure und Kohlenoxyd über. Da durch diese neue Beschickungsweise jede Abkühlung und damit auch jede unvollständige Verbrennung ausgeschlossen ist, so ist eine

Rauch- und Russbildung bei der Wegener-Feuerung absolut unmöglich. Die vollständige Verbrennung ohne Luftüberschuss, die Rauchverbrennung selbstverständlich mit eingeschlossen, hat man völlig in der Hand. Bei der stetigen Zuführung der Kohle gestaltet sich auch die Entgasung derselben in der Feuerung zu einer stetigen und da die Decke des Verbrennungsraumes sich in beständig strahlender Weissglut befindet und den Gasen eine sehr hohe Hitze mitteilt, so genügt zu ihrer Verbrennung Luft von gewöhnlicher Temperatur. Die Luft wird durch ringförmig gelagerte Schlitze senkrecht zur Flammenrichtung nach Bedarf in die Züge hineingelassen. Die Wirkung ist eine augenblickliche und vollkommene.

Die Wegener-Feuerung wird entweder als Vorfeuerung oder als Unterfeuerung ausgeführt.

Bei Wasserröhrenkessel wird der Apparat auf Fundamentsockeln, welche in gleicher Höhe mit dem Kesselraumfussboden liegen, montiert. Die Rostfläche kommt, wie bei gewöhnlicher Planrostfeuerung, unter der unteren Wasserröhrenreihe zu liegen. Der Verbrennungsraum wird mit Chamottesteinen ausgemauert, das Mauerwerk durch U-Eisen und Winkel-Eisen gestützt, bezw. mit dem Kesselmauerwerk verbunden. (Fig. 1 stellt die Wegener-Feuerung für Wasserrohrkessel dar. Die Zeichnung ist schematisch gehalten, um eine Vorstellung der Feuerungsanlage zu vermitteln. Viele wichtige konstruktive Einzelheiten sind fortgelassen, um das Bild nicht undeutlich zu machen und auch, damit nicht Unberechtigte darnach bauen können.)

Bei den Flammrohrkesseln oder Cornwallkesseln steht die Feuerung frei und von allen Seiten zugänglich in der Form eines cylinderartigen Ofens mitten vor dem Kessel, ohne indessen mehr Raum einzunehmen, als man bei den Kesseln mit Innenfeuerung zur Handhabung der langen Schüreisen braucht, oder für eine Vorfeuerung mit Treppenrost, die sogar noch mehr Platz einnimmt. (Die schematisch gehaltene Fig. 2 gibt ein Bild der neuen Feuerung für Flammrohrkessel; konstruktive Einzelheiten fehlen hier ebenfalls.) Durch Kanäle in entsprechender Anzahl der Flammrohre wird die Flamme aus dem Feuerungsraum in

die Flammrohre geleitet. Der Rost wird aus keilförmigen Stäben gebildet, die sich als Kegel mit abgestumpfter Spitze um die Mündung des rechtwinklig gekrümmten Kohlenzuführungsrohres zentrisch gruppieren. Das andere Ende des Kohlenzuführungsrohres liegt ausserhalb der Feuerung und wesentlich tiefer als die oben genannte weite Mündung. In diesem horizontalen Rohrteil wird ein Kolben durch hydraulischen Druck des Stengels langsam vorwärts bewegt und durch ihn werden die im Rohre liegenden Kohlen durch die Rohrmündung auf den Rost geschoben, wo sie sich, gleichmässig nach allen Seiten überquellend, über die Rostfläche verbreiten, indem sie einen Verbrennungskegel bilden. Die Schlacken sammeln sich am Umfange des Verbrennungsraumes an und werden hier durch die in viele Sektionen eingeteilten vertikalen Gitterroste am Herausfallen gehindert, bezw. sie werden hier vom Heizer mittelst eines kurzen Hackens abgezogen, ohne dass ein Eindringen kalter Aussenluft in den Verbrennungsraum stattfinden kann. Unter dem Roste dient eine flache Vertiefung des Fussbodens als Aschenbehälter. Da hinein fallen die gezogenen Schlacken und auch die Asche. Ist einmal ein grösseres Schlackenstück zu entfernen, so wird einer der seitlichen Rippenkörper in seiner Angel gedreht, das Stück herausgezogen und sofort in dem flachen Sumpfe unterhalb der Feuerung abgelöscht. Durch diese permanente Reinigung des Rostes wird der Gang der Feuerung in gar keiner Weise beeinflusst. Es gibt keine Feuerung, die sich in Bezug auf die so einfache Art der Entschlackung mit der Wegener'schen Feuerung vergleichen liesse.

Bei den Wasserröhrenkesseln, an denen die Feuerung nur vom Heizerstande aus zugänglich ist (Fig. 1), sind an dieser Stelle zwei Oeffnungen zur Vornahme der Entschlackung vorgesehen und der kegelförmige Rost ist automatisch drehbar eingerichtet, so dass in regelmässigen Intervallen jede Stelle der Rost-Peripherie vor die beiden Oeffnungen am Heizerstand gebracht wird. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist von derjenigen des hydraulischen Kohlenvorschubkolbens direkt abhängig, so dass das Abziehen der Schlacken dem jeweiligen Betriebstempo entsprechend vorgenommen werden kann.

Um ein Klemmen der Kohlen in dem Rohre zu verhüten, erweitert sich dasselbe allmählich nach der Mündung zu und ist nur in dem Teile, in welchem sich der Druckkolben bewegt, zylindrisch ausgestaltet. Ueber diesem Rohrteil ist ein Einfülltrichter angeordnet, in welchen der Heizer die einzuführenden Kohlen wirft. Ein Schieber schliesst das Rohr gegen den Fülltrichter hin ab. Dieser Schieber ist in der Mitte der Kolbenachse bezw. Rohrachse geteilt und öffnet sich selbsttätig, sobald der Kolben durch Umsteuerung mit Gewichtshebel selbstständig aus seiner Endstellung in die Anfangslage zurückgegangen ist. Die Kohlen fallen aus dem Fülltrichter in den Rohrteil, der Schliesser schliesst sich wieder selbsttätig und das Spiel kann von neuem beginnen, während der Heizer Zeit gewinnt, den Füllrumpf neu zu beschicken und die Feuerung zu bedienen.

Die Anlage an dem Kessel ist mit Beleuchtungsspiegeln versehen, durch die man die Vorgänge im Verbrennungsraume und in den Flammenrohren genau beobachten und sich so selbst ad oculos davon überzeugen kann, dass keine Rauchbildung weder im Verbrennungsraum noch in den Kesselzügen stattfindet. Der Heizer reguliert den Luftzutritt nach dem Spiegelbild der Flamme durch zwei Zugleinen. So lange die Verbrennung noch nicht vollständig ist, bleibt die Flamme trübe und der Moment, wo sie klar wird, ist ganz genau zu treffen. Vorübergehend können auch die beiden sonst geschlossenen Schaulöcher dazu dienen, etwas Luft einströmen zu lassen. Auf diese wunderbare Leichtigkeit der Regulierung der Flamme soll hier ganz besonders hingewiesen sein.

Die Bedienung der Wegener'schen Feuerung gestaltet sich also sehr einfach. Der Heizer hat zur Chargierung nur den Rumpf gefüllt zu halten, unter dem sich der automatische Kolben bei jedem Rückgange seine Ladung von 40 kg holt. Ferner muss er durch ein Ventil die Geschwindigkeit dieses Kolbens und somit das in der Zeiteinheit zu verbrennende Gewicht an Kohle regulieren und nach dem Spiegelbild dafür sorgen, dass die Flamme bei ihrem Austritt aus den Zügen exakt das richtige Mass an Verbrennungsluft erhält.

Die hydraulische Dampfpresspumpe, welche die automatische Beschickung versieht, wird aus dem Dampfkessel gespeist;

ihr Dampfverbrauch ist ganz minimal. So lange kein Dampf im Kessel ist, besorgt eine kleine Handpumpe dieses Geschäft.

Wenn auch bei der Wegener-Feuerung eine absolut sicher wirkende automatische Beschickung vorhanden ist, so empfiehlt es sich doch, sich eines sehr zuverlässigen Heizers zu bedienen, damit derselbe auch wirklich die aufgezählten Arbeiten alle richtig und pünktlich ausführt.

Bei der Wegener-Feuerung kann jede beliebige Kohlensorte unvorbereitet in der jeweilig vorkommenden Form verfeuert werden. Es ist hiebei ganz gleichgiltig, ob ein Brennstoff viel oder wenig Gas abgibt, selbst der bitumenöseste Brennstoff kann vollständig verbrannt werden, ohne eine Spur von Rauch zu geben.

Hinsichtlich der vollständigen Verbrennung habe ich zu bemerken, dass bei einer solchen die gesamte Wärme des Brennstoffes teils direkt teils durch Vermittlung der Verbrennungsgase, die den grössten Teil aufnehmen, auf die Umgebung, in der Hauptsache also auf das Wasser im Kessel, dann aber auch auf das Kesselmauerwerk übergeht. Es treten Verluste aus zwei Quellen auf, einmal ein konstanter Verlust durch Strahlung aus dem Mauerwerk nach Aussen, dann derjenigen Wärme, die von den abziehenden Heizgasen durch den Schornstein entführt wird. Der unvermeidliche Strahlungsverlust wird durch gute Einmauerung des Kessels so gering wie möglich gemacht. Er beträgt tatsächlich nur wenige Prozente. Der Schornsteinverlust, der uns ganz besonders interessiert, ist ein wechselnder, je nach der Temperatur und der Menge der abziehenden Verbrennungsgase. Diese letzteren müssen eine gewisse Temperatur, etwa 250° C. haben, um den Schornsteinzug zu bewirken und es ist klar, dass sie nur dann den geringsten Wärmeverlust veranlassen, wenn sie aus einer normalen vollständigen Verbrennung hervorgehen, d. h. bei Verbrennung mit einfachem Luftquantum nur aus Kohlensäure, Stickstoff u. etwas Wasserdampf bestehen. Die Luft enthält bekanntlich in 100 Volumteilen rund 79 Volumteile Stickstoff und 21 Volumteile Sauerstoff. Nun bildet 1 Volumteil Sauerstoff einen Volumteil Kohlensäure. Wenn also lediglich Kohlenstoff zu verbrennen wäre, so würden wir bei

Verbrennung mit einfachem Luftquantum 21 Volumteile Kohlensäure und 79 Volumteile Stickstoff in den Rauchgasen zu erwarten haben. Bei Verbrennung mit doppeltem Luftquantum würden also noch 21 Volumteile Sauerstoff und 79 Volumteile Stickstoff hinzukommen, das gibt auf 100 Volumteile $10^1/_2$ Teile Sauerstoff, $10^1/_2$ Teile Kohlensäure und 79 Teile Stickstoff. Der Wärmeverlust würde in diesem doppelten Gasquantum gerade der doppelte sein. Beim Verbrennen roher Steinkohle wird wegen des Gehalts an Wasser und an Wasserstoff, der zu Wasserdampf verbrennt, der Kohlensäuregehalt der Heizgase um einige Prozente zurückgehen. Aus dem Gehalt der Heizgase an Kohlensäure, noch sicherer aber aus dem Gehalt an Sauerstoff gewinnt man daher einen guten Anhalt, ob und mit welchem Luftüberschusse gearbeitet worden ist. Nach den Untersuchungen des Chemikers P. Fuchs lieferte eine Kohle, die 70,05 Proz. Kohlenstoff, 4,44 Prozent Wasserstoff, 6,61 Proz. Sauerstoff, 0,79 Proz. Stickstoff, 2,68 Proz. Wasserdampf und 15,43 Proz. Rückstände enthielt, bei Verbrennung mit einfachem Luftquantum 17,56 Vol. Proz. Kohlensäure, 3,71 Vol. Proz. Wasserdampf und 78,73 Vol. Proz. Stickstoff. Dieselbe Kohle, die also bei einfachem Luftquantum gar keinen Sauerstoff in den Rauchgasen enthielt, ergab bei

1,1	fachem	Luftquantum	1,906	Vol. Proz. Sauerstoff in den Rauchgasen.
1,25	„	„	4,192	
1,5	„	„	6,987	
1,75	„	„	8,983	
2	„	„	10,480	
2,25	„	„	11,645	
2,5	„	„	12,570	

Bei sämtlichen bis jetzt schon in verschiedenen Betrieben eingeführten Wegener-Feuerungen hat sich ein freier Sauerstoffgehalt in den Heizgasen nicht nachweisen lassen. Der mit jedem System der Planrostfeuerung unlöslich verbundene Nachteil der Verbrennung mit Luftüberschuss ist also bei der Wegener-Feuerung vollständig ausgeschlossen.

Die rauchfreie Verbrennung vollzieht sich also nicht wie bei anderen Rauchverbrennungssystemen auf Kosten der Oekonomie, sondern auf ganz normalem Wege mit einfachem Luftquantum. Die Verbrennungsprodukte sind bei der Wegener-Feuerung fast ausschliesslich Stickstoff, Kohlensäure (bis 19 Prozent) und Wasserdampf; freier Sauerstoff ist in den Verbrennungsprodukten nicht enthalten.

Erst nach längeren gewissenhaften Vorversuchen trat der Erfinder mit seiner Feuerung im Jahre 1901 an die Oeffentlichkeit. Der erste Apparat wurde an einem Cornwall-Zweiflammenrohrkessel von ungefähr 100 Quadratmeter Heizfläche während eines 5monatlichen, Tag und Nacht ununterbrochen durchgeführten Betriebes ausprobiert. Schon jener erste Apparat arbeitete absolut zuverlässig; eine Rauchbildung wurde während der 5monatlichen Betriebszeit nicht konstatiert. Der ökonomische Vorteil bestand in einem um 16 Prozent erhöhten Nutzeffekt gegenüber der angewandten Planrostfeuerung, was in diesem Falle eine Kohlenersparnis von etwa 30 Prozent bedeutete.

Eine der ersten Bestellungen, die dem Ingenieur Wegener zuging, war die Einrichtung einer Zentralheizungsanlage im Kgl. Schlosse Montbijou in Berlin im Januar des Jahres 1902. Trotzdem die Anlage hier unter den schwierigsten Umständen arbeitete, weil nur ein niedriger enger Blechschornstein zur Verfügung stand, so war der Erfolg doch ein vollständiger: der niedrige Schornstein raucht seither nicht mehr.

Es folgten seither Aufträge von Grossindustriellen des In- und Auslandes.

Im März 1905 wurde in der Haase'schen Brauerei in Breslau die Wegener-Feuerung an drei nebeneinanderliegenden Kesseln eingeführt und die Aufstellung an 23 Kesseln der Putilow-Werke in St. Petersburg ist nur durch die fortgesetzten Unruhen in St. Petersburg verzögert worden.

Prof. Dr. Albano Brand von der Technischen Hochschule in Charlottenburg hat die Wegener-Feuerung in Breslau*) einer

*) Fig. 3 zeigt eine Ansicht der Wegener'schen Einrichtungen in der Haase'schen Brauerei in Breslau an 3 nebeneinander liegenden Kesseln.

Fig. 4.

Verdampfungsresultate der automatischen und rauchlosen Feuerung — System Wegener (D. R.-P.)

Anlage in der Lagerbier-Brauerei E. Haase, Breslau.

	Richterschächte Nuss I	Hedwigwunsch Nuss I	Richterschächte Nuss I	Hedwigwunsch Nuss I	Castelengo Nuss I	Hohenzollern Nuss I	Hohenzollern Erbs II	Hohenzollern Erbs II	Hohenzollern ungesiebt Gries	Hohenzollern Erbs II	Richterschächte Nuss I	Richterschächte Erbs II	Hohenzollern Erbs II	Hohenzollern Erbs II Kaiser-Friedr.-Schacht	Hohenzollern Erbs II
	1	2	3	4	5	*6	7	8	9	**10	11	12	13	***14	***15
1. Versuch am	8. 6. 04	10. 6. 04	15. 6. 04	16. 6. 04	17. 6. 04	18. 6. 04	21. 6. 04	22. 6. 04	24. 6. 04	24. 6. 04	3. 7. 04	7. 7. 04	8. 7. 04	14. 3. 05	17. 3. 05
2. Versuchsdauer Std.	6^{18}	4	9	8	8	8	8	8	6	4^{15}	5	8	8	6^{35}	7
3. Heizfläche des Kessels qm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4. Rostfläche des Kessels qm	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
5. Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8	1 : 43,8
6. Kohle im ganzen verfeuert kg.	1720	1100	2854	2320	2299	2308,5	2280	2297	1591	1208	1460	2711	2426	2004,5	2103
7. „ pro Minute „ kg.	4,5	4,6	5,25	4,83	4,74	4,8	4,77	4,78	4,42	4,73	4,86	5,64	5,05	5,07	5
8. „ Stunde „ und 1 qm Rostfläche kg	119	120,6	138,1	127,1	124,7	126,3	125	125,9	116,2	124,4	128	148,5	133,02	133,5	131,7
9. Asche und Schlacken in % des Brennmaterials %	10	9	6	9	9	8	8	11	13	8	7	7	8	15	7
10. Brennmaterial zirka W. E.	6762,6	7173,6	6762,6	7173,6	7200	7200	7100	7100	7100	7100	6762	6762	7100	6573	7201
11. Speisewasserverbrauch im Ganzen kg.	13780	10400	24209	22082	22355	22400	22620	22648	14800	12000	14000	22825	23578	16118	19680
12. „ pro Stunde kg.	2184	2600	2688	2760	2794	2800	2827	2831	2466	2823	2800	2853	2947	2445	2811
13. „ „ „ u. 1 qm Heizfl. kg	21,84	26	26,9	27,6	28	28	28,27	28,31	24,66	28,23	28	28,53	29,5	24,45	28,11
14. Temperatur des Speisewassers °C	53	55	56	61	62	62	59	48	58	59	60	61	62	64,4	63,6
15. „ der Kesselhausluft °C	32	31	36	38	39	36	30	32	30	30	31	39	39	21,3	19,7
16. „ „ Heizgase vor dem Schieber °C	240	270	272	291	293	294	258	263	268	275	260	277	298	270,3	274,8
17. Zugstärke m/m WS.	16	16	16	16	16	16	13	16	16	17	16	18	17	20,3	20,72
18. Kohlensäuregehalt der Verbrennungsgase %	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17-19	17,5	17,3
19. Dampfdruck im Mittel Atm.	9	9	9	8,5	9	8,9	8,8	8,9	8,4	8,8	8,8	8,8	8,3	8,76	8,84
20. Temperatur des Dampfes (Atm. absolut) °C	181	181	181	179	181	180	180	180	179	180	180	180	178	177,79	177,89
21. Gesamtwärme W.E.	661	661	661	661	661	661	661	661	660	661	661	661	660	660,7	660,8
22. 1 kg Kohle verdampft unt d. Versuchsverhältnissen ohne Berücksichtigung des Zirkulationswassers kg	8,01	9,45	8,5	9,5	9,72	9,7	9,92	9,85	9,3	9,93	9,58	8,4	9,73	8,04	9,36
†23. 1 kg. Kohle verdampft unt. d. Versuchsverhältnissen unter Berücksichtigung des Zirkulationswassers kg.	8,9	10,1	8,9	10,2	10,3	10,2	10,5	10,4	10,2	10,3	10,1	8,9	10,5	9,01	10,39
24. Nr. 23 umgerechnet auf Dampf v. 637 W. E. kg	8,5	9,6	8,44	9,59	9,68	9,58	9,92	10,00	9,63	9,73	9,52	8,37	9,84	8,43	9,73
25. Aus 1 kg. Kohle gewonnene Wärme W.E.	5411,2	6120,6	5384,5	6120	6169,7	6109,8	6321	6375,2	6140,4	6200,6	6070,1	5340	6279	5372,6	6204,9
26. **Nutzeffekt** %	**80,01**	**85,32**	**79,62**	**85,31**	**85,69**	**84,85**	**89,02**	**89,79**	**86,48**	**87,33**	**89,76**	**78,97**	**88,43**	**81,8**	**86,2**
27. Verluste in den Herdrückständen 28. Schornsteinverluste 29. Verluste durch Strahlung %	19,99	14,68	20,38	14,69	14,31	15,15	10,98	10,21	13,52	12,67	10,24	21,03	11,57	18,2	13,8
30. Kohlenpreis pro 1000 kg frei Kesselhaus M.	16,20	15,90	16,20	15,90	15,80	15,60	11,60	11,60	9,00	11,60	16,20	11,90	11,60	11,60	11,60
31. 1000 kg Dampf kosten nach Nr. 22 M.	2,02	1,68	1,90	1,67	1,62	1,60	1,17	1,17	0,97	1,16	1,67	1,42	1,19	1,44	1,24
32. 1000 „ „ „ „ „ 24 M.	1,90	1,66	1,92	1,66	1,63	1,63	1,17	1,16	0,93	1,19	1,70	1,42	1,18	1,38	1,19

Ersparnisse durch die Wegener-Feuerung gegenüber der früheren Planrostfeuerung in d. Haase-Brauerei mit einem Flammrohrkessel von 100 qm Heizfläche in 24 Stunden bei Verwendung folgender Kohlen:

1. Richterschächte Nuss I M. 23,58
2. Hedwigwunsch Nuss I . „ 44,93
3. Richterschächte Nuss I „ 33,55
4. Hedwigwunsch Nuss I . „ 48,35
5. Castelengo Nuss I . . „ 47,62
6. Hohenzollern Nuss I . . „ 51,08
7. „ Erbs II . „ 82,57
8. „ Erbs II . „ 82,89
9. „ Gries . . „ 85,82
10. „ Erbs II . „ 79,95
11. Richterschächte Nuss II „ 48,36
12. „ Erbs II „ 64,96
13. Hohenzollern Erbs II . „ 84,87

* Unter Leitung des Ingenieurs Paul Fuchs-Berlin.

** Unter Leitung des Oberingenieurs Spitznass-Berlin vom Handelsministerium.

*** Unter Leitung der vereideten Sachverständigen Herren Ingenieur Wolfes und Gerichtschemiker Dr. Götting.

† Das Zirkulationswasser zur Kühlung des Chamotte-Futters im Verbrennungs-Raum kann z. Speisung des Kessels benutzt werden.

eingehenden und gründlichen Prüfung unterzogen und die Ergebnisse derselben in einem am 5. März 1905 im Konzerthause in Breslau gehaltenen Vortrage bekannt gegeben. In diesem Vortrage, dem verschiedene der seitherigen Notizen entnommen sind, machte Prof. Dr. Brand unter anderem folgende Angaben:

Der theoretische Heizwert der in der Haase'schen Brauerei in Breslau benützten Kohlen schwankte zwischen 6763 und 7200 Wärmeeinheiten und die erzielte Verdampfung zwischen 8,4 bis 10 kg Wasser pro Kilogramm Kohle, was einem Nutzeffekt von 82—93 Prozent entspricht.

Prof. Dr. Brand hat besonders die in hohem Grade vorhandene Anpassungsfähigkeit der Wegener-Feuerung an die verschiedenen Anforderungen des Betriebs, rühmend hervorgehoben. Entsprechend den per Stunde auf 1 Quadratmeter Rostfläche verbrannten Kohlen von 116,2 bis 148,5 Kilogramm wechselte die Verdampfung pro Quadratmeter Heizfläche von 26,5 bis 34 Kilogramm. Dabei schwankte der Kohlensäuregehalt der Heizgase von 17—19 Prozent und freier Sauerstoff konnte, wie schon früher erwähnt, nicht nachgewiesen werden.

Feuerungsingenieur Paul Fuchs in Berlin, Oberingenieur Spitznass vom Handelsministerium zu Berlin, Ingenieur Wolfes und Gerichtschemiker Dr. Götting in Breslau haben sich durch ihre Versuche bei der in der Brauerei des Kommerzienrats Haase in Breslau eingerichteten Wegener-Feuerung persönlich von den Leistungen dieser neuen Feuerung überzeugt. Ihre Ergebnisse sind aus der beiliegenden, von 15 Verdampfungsversuchen mit verschiedenen Kohlensorten herrührenden Tabelle (siehe Fig. 4) zu ersehen, wobei bemerkt werden muss, dass diese Versuche in keinerlei Weise etwa sogenannten Paradeversuchen entstammen, sondern dass die in diesen Tabellen enthaltenen Zahlen bei regulärem Betriebe gewonnen wurden.

Aus dieser Tabelle kann der Feuerungstechniker so ziemlich alles entnehmen, was er zur Beurteilung der Wegener-Feuerung gebraucht.

Bei allen Versuchen blieb der Schornstein stets rauchfrei und nur an der zitternden Bewegung der

austretenden Schornsteingase konnte man erkennen, dass die Feuerung überhaupt in Betrieb stand.

Diese Ergebnisse sind so überwältigend, dass alle älteren Feuerungen technisch und aërologisch dadurch in den Schatten gestellt werden.

Die Vorzüge, welche dem neuen automatischen und rauchfreien Wegener'schen Feuerungssystem den Stempel der Ueberlegenheit gegenüber allen andern Erzeugnissen der Feuerungstechnik bis zum heutigen Tag verleihen, sind kurz gefasst die folgenden:

1. absolute Rauchfreiheit in allen Stadien des Betriebs,

2. fast vollständige Vermeidung der Flugaschenbildung,

3. vollkommene Betriebssicherheit und Anpassungsfähigkeit,

4. erhöhter Nutzeffekt und zwar gewährleistet das System gegenüber gewöhnlichen Planrostfeuerungen durchschnittlich mindestens 20 bis 25 Prozent direkte Kohlenersparnis, welche Art von Kohle auch gefeuert werden mag,

5. Entlastung des Heizerpersonals,

6. Schonung des Kesselmaterials, da Temperaturschwankungen vermieden werden,

7. Schonung im besonderen der Dampfüberhitzer, da die sauerstoffarmen Gase der Wegener-Feuerung den Zerstörungsprozess dieser Ueberhitzer ausschliessen,

8. einfache, solide und in allen Einzelheiten bis zur Eleganz vervollkommnete Konstruktion.

Diese Vorteile sind so bedeutend, dass die Kesselschmiede um ihren Absatz besorgt werden. Daher kommt es auch, dass die Fachliteratur die Wegenersche Feuerung gar nicht anrühren mag und dass bis jetzt verhältnismässig nur wenige Veröffentlichungen über die Wegener-Feuerung ausserhalb der Fachliteratur erschienen sind.

Hinsichtlich der Kosten der Neu-Einrichtung der Wegener-Feuerung seien nach den Mitteilungen des Prof. Dr. Brand nachfolgende kurze Angaben gemacht: Die Wegener-Feuerung auf Wasserröhrenkessel appliziert — und zwar hineingebaut mit drehbarem Rost des Schürens wegen — kostet 30 Mark pro Quadratmeter Heizfläche und bei Cornwall- oder Flammrohrkessel 40 Mark bis zu 100 qm Heizfläche. Darüber hinaus ermässigt sich der Preis. Eine Feuerung für einen Cornwallkessel mit 100 qm Heizfläche, wie sie in der Haase'schen Brauerei in Breslau in Betrieb sind, kostet also rund 4000 Mark. Bei einer Dampferzeugung von 25 kg pro Quadratmeter Heizfläche beträgt die jährliche Dampfproduktion bei 300 Arbeitstagen zu je 10 Stunden 7 500 000 kg per Stunde oder 7500 Tonnenstunden. Nimmt man hiebei pro Kilogramm Kohle eine Verdampfung von 8,5 Kilogramm Wasser an, so wären hiezu 882 356 kg Kohlen nötig. Bei der nachgewiesenen Ersparnis von etwa 25 Prozent würde diese Ersparnis 220 589 kg Kohlen oder 4412 Zentner im Jahr betragen. Wird der Preis von 1 Zentner Kohle auf nur 58 Pfg. angenommen, so würde die jährliche Ersparnis bei täglich 10stündigem Betrieb etwa 2500 Mark und bei Tag- und Nachtbetrieb etwa 5000 Mark betragen.

Nun ist aber wohl zu beachten, dass eine solche Wegener-Feuerung nicht in einem Jahre aufgebraucht wird; sie bedarf nur einiger kleinerer Reparaturen, die nach den Angaben des Prof. Dr. Brand etwa 1 1/2 Tage beanspruchen und bei 10stündigem Betriebe etwa 400 Mark und bei Doppelschicht 800 Mark ausmachen.

Die Kosten der Einrichtung der Wegener-Feuerung sind also keine unerschwinglichen und decken sich reichlich durch die erzielten Kohlenersparnisse.

Sämtliche interessierten Behörden: das Kaiserl. Reichsmarineamt, die Kgl. Preuss. Eisenbahndirektion, das Polizeipräsidium u. s. w., ferner verschiedene Dampfkesselrevisionsvereine nahmen Gelegenheit, die Wegener-Feuerung im Betriebe zu beobachten und den verschiedensten Experimenten zu unterwerfen. Die Ergebnisse waren ohne Ausnahme überraschend günstig und wurden als beispielloser Erfolg auf dem Gebiete der Feuerungstechnik anerkannt.

Dem Erfinder dieser neuen automatischen, rauchlosen Feuerung, Ingenieur Karl Wegener in Charlottenburg, ist es unterdessen auch gelungen, einen Kessel zu konstruieren, bei dem die Einmauerung mit ihren vielen Missständen ganz wegfällt und nur der Rost mit der neuen Beschickungsvorrichtung bleibt. Bei einer Verbrennungswärme der Kohle von durchschnittlich 6500 Wärmeeinheiten liefert dieser Kessel eine Verdampfung von mindestens 9,6 Kilogramm Wasser pro Kilogramm Kohle, was einem Nutzeffekt von 94 Prozent entspricht, d. h. 94 Prozent der aus der Verbrennung der Kohle entstandenen Wärme wird an den Dampf im Kessel überführt, ein Wirkungsgrad, der als der höchste bezeichnet werden muss, der je bei einer Feuerung erreicht worden ist.

Dieser neue patentierte Kessel wurde Ende Dezember 1906 zusammen mit einer zweiten automatischen und rauchfreien Stückkohlenfeuerung im Schlosse Montbijou in Berlin aufgestellt. Es darf dies wohl als der beste Beweis dafür angesehen werden, dass die seit Januar 1902 im Kgl. Schlosse Montbijou in Berlin eingerichtete erste Wegener-Feuerung seither zur allseitigen vollen Zufriedenheit gearbeitet hat.

Kommerzienrat Haase in Breslau, der im Jahre 1905 in seiner Brauerei, wie schon erwähnt, an 3 Kesseln die Wegener-Feuerung eingerichtet hat, ist mit dieser neuen Feuerung ebenfalls so sehr zufrieden, dass er im Januar 1907 eine weitere solche Feuerung, sowie den neuen Wegener-Kessel aufstellen liess.

Im Herbst 1906 sind in der Pulverfabrik der Festung Schlüsselburg bei St. Petersburg einige dieser neuen Wegener-Feuerungen zur Aufstellung gelangt, die für Torfheizung eingerichtet sind und bei absoluter Rauchlosigkeit eine Ersparnis an Brennmaterial von 24 Prozent ergaben.

Prof. Dr. Jurisch an der Technischen Hochschule in Charlottenburg, der dort den neugeschaffenen Lehrstuhl für Aërologie oder Luftrecht inne hat, hat schon zu wiederholtenmalen öffentlich seiner Ueberzeugung dahin Ausdruck gegeben, dass die neue Wegener-Feuerung dazu berufen scheine, die Rauchplage,

soweit dieselbe auf Kesselfeuerungen zurückzuführen ist, endgiltig zu beseitigen.

Zum Schlusse dürfte es nicht uninteressant sein, noch die Vorschläge zu hören, die Prof. Dr. Jurisch gemacht hat,*) um in Städten, die durch schwarzen Rauch belästigt werden, den Rauch zu mindern bezw. zu beseitigen.

1. Sein Hauptvorschlag geht dahin, sämtliche stationären Dampfkesselanlagen einer Stadt mit der Wegener-Feuerung zu versehen. Am raschesten liesse sich dies nach seiner Ansicht dadurch erreichen, dass die betreffende Stadt auf ihre eigenen Kosten an einer städt. Kesselanlage diese Feuerung einrichtete. Der mit Sicherheit zu erwartende Erfolg würde dann aller Voraussicht nach auch die Eigentümer der übrigen Dampfkesselanlagen aus eigenem Interesse veranlassen, die Wegener-Feuerung bei sich einzurichten.

Die weiteren von Prof. Dr. Jurisch gemachten Vorschläge betreffen folgende Punkte:

2. Bekanntmachung und Einführung der Lov'schen Schürmethode. Dies könnte ohne jede Vorbereitung und ohne jede Kosten an jeder Rostfeuerung sofort geschehen. Dadurch würde die Rauchplage bereits erheblich gemildert werden. Die Lov'sche Schürmethode ist nur als Uebergang gedacht, bis die vollkommeneren Mittel eingeführt sind.

3. Errichtung von Heizerschulen oder Heizerkursen. Es ist für die ganze Industrie und für alle Gewerbe nützlich, dass die Heizer über die Theorie des Verbrennungsprozesses, über die Einrichtung der Herde und über die Schürmethoden aufgeklärt werden. Was ein erfahrener und gewissenhafter Heizer an Lohn mehr empfängt, als der ungelehrte, bringt er seinem Brotherrn überreichlich ein. Auch für die vollkommensten Feuerungseinrichtungen sind erfahrene Heizer erforderlich.

*) Im Gewerbl.-Techn. Ratgeber 1906. Heft 20.

4. Konzentration der vielen Bäckereien in Backhäusern. Wer es nicht selbst einmal erlebt hat, kann sich schwer eine Vorstellung davon machen, was für einen abscheulichen Rauch ein Bäckerbursche zwischen 3 und 4 Uhr morgens hervorbringen kann. Ganze Strassenzüge können mit Rauch angefüllt werden, den man in der Dunkelheit nicht sehen, sondern nur riechen kann. In den Backhäusern könnte man die Feuerungen beständig unterhalten und rauchfrei gestalten. Die Zubereitung der Backwaren könnte hygienisch überwacht werden. Wie wichtig dies ist, weiss jeder Arzt und jeder Hygieniker. Die bisherigen Bäckereien würden nur Verkaufsstellen der Backwaren werden. Die Backstuben, die zu so vielen Bedenken Anlass bieten, würden für kleinste Wohnungen verfügbar. Die Kosten der Backwaren würden erheblich billiger werden und das Vertrauen des Publikums auf die Sauberkeit der Backwaren würde wachsen.

5. Einrichtung zentraler Koch- und Räucheranstalten für die Metzger. Die Metzger, welche noch an der guten alten Vorstellung festhalten, dass zum Räuchern wirklicher Rauch nötig sei, mögen daran erinnert werden, dass die Räucherwaren den besten Wohlgeschmack erlangen durch Anwendung von Rauch aus Buchenholz. Das Buchenholz liefert nur ganz dünnen, bläulichen Rauch, der in der Luft leicht wie ein Hauch vergeht. Wenn ein solcher Rauch noch dazu durch Räucherkammern hindurchgeht, so wird er nahezu unsichtbar. Denn die Räucherkammern kleiden sich im Innern mit einer schwarzfunkelnden harten Russschicht aus, die ein kristallinisches Aussehen hat und bei Berührung kaum abfärbt. Hier wird also der grösste Teil des spärlichen Rauches zurückgehalten. Die Kochanstalt könnte entweder das Buchenholzfeuer benützen oder durch Gas oder Koks oder mit Wegener-Feuerung betrieben werden. Rauchbildung würde dabei nicht eintreten. Vielleicht dürfte es sich aus hygienischen Rücksichten empfehlen, die Zubereitung der Würste und anderer Fleischwaren in die Zentrale zu verlegen. Die Korporation der Metzger könnte dann selbst die Kontrolle ausüben, um die Verarbeitung minderwertigen Fleisches zu verhindern. Die bisherigen Schlächtereien würden nur Verkaufs-

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
506 ULM C001 v.16(1912-1914)
Mitteilungen des Vereins fur Mathematik

3 0112 088387912

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
506 ULM C001 v.17(1916-1922)
Mitteilungen des Vereins fur Mathematik

3 0112 088387920

For the preceding 2, I have a volume 16 - 20, but the other bar codes are for that volume and missing from tape, but are recorded in the data base.

stellen für Fleischwaren werden und die verfügbaren Räume könnten zu kleineren Wohnungen eingerichtet werden.

6. Einrichtung der Hôtelküchen auf Gasbetrieb. Die Gasküche findet sich bereits in vielen Gasthöfen und Privatwohnungen. Wo sie noch nicht vorhanden ist, müsste man durch freundliche Ueberredung die Einrichtung von Gasherden herbeizuführen suchen. Die Gasfeuerung mit Heizgas lässt sich rauchfrei einrichten.

7. Zentralheizung. Die vielen kleinen Ofenfeuerungen ohne Rost in den Wohnungen könnten durch Zentralheizung ersetzt werden, was natürlich ganz von dem freien Entschlusse eines jeden Hauseigentümers abhängen würde.

8. Schmiedefeuer könnten ganz gut mit Koks unterhalten werden und sind dann rauchfrei.

9. Waschanstalten könnten an ihren Dampfkesseln sehr wohl die Wegener-Feuerung anbringen und blieben dann auch frei vom Rauch.

10. Büglerinnen und viele kleine Industrien oder Gewerbe könnten Gas- oder Koksfeuer benützen.

Den mitunter lästig fallenden Rauch von Lokomotiven könnte man am besten beseitigen durch Benützung von Koks als Brennmaterial, oder sicherer durch Einrichtung der Wegener-Feuerung an den Lokomotiven, was bei dem beschränkten Raum auf den Lokomotiven etwas schwierig ist, aber nach den eigenen Mitteilungen des Ingenieurs Wegener letzterem gelungen zu sein scheint.

Hinsichtlich der Wegener-Feuerung möchte ich zum Schluss nur noch kurz darauf hinweisen, dass auch für die Anwohner unserer Binnengewässer, auf denen Dampfschiffe verkehren, für unsere Häfen, unsere grossen Seedampfer und auch für unsere Kriegsschiffe die Einführung dieser neuen Feuerung von grosser

Wichtigkeit wäre. Kein Rauchstreifen am Horizont könnte dann das Herannahen einer Flotte verraten, die mit der Wegener-Feuerung ausgerüstet ist.

Ingenieur Wegener ist nach seinen eigenen Mitteilungen mit der Reichs-Marine-Verwaltung in Verkehr getreten; ob und wie weit Aussicht vorhanden ist, dass seine Feuerung früher oder später bei unserer Kriegsmarine zur Einführung gelangt, entzieht sich meiner Kenntnis und wird selbstverständlich vorerst geheim gehalten.

Wenn auch manche der zuletzt gemachten Vorschläge unter den bestehenden Gesetzen nicht sogleich ausführbar sind, so behalten sie doch ihren Wert. Unsere Gesetze sind ja nicht für die Ewigkeit gemacht, sondern müssen den auftretenden Bedürfnissen des Volkes angepasst werden.

Die Gefässkryptogamen der Ulmer Gegend.

Von Prof. **Haug.**

Eine systematische Zusammenstellung der Ulmer Gefässkryptogamen (Pteridophyta) existiert bis jetzt nicht; diese Pflanzengruppe ist sowohl in der Valet'schen Uebersicht (1847) als in der von Mahler (1898) ausser Beachtung geblieben, beide Arbeiten befassen sich nur mit den Phanerogamen. In dem alten ulmischen „Kreuterbuch" von Hieronymus Harder aus dem Jahr 1594 finden sich zwar auch getrocknete Gefässkryptogamen, jedoch ohne Fundortsangabe, ebenso in dem „Herbarium vivum" von Johannes Frank; in dem „Ulmischen Paradissgarten" von Johann Schöpf vom Jahr 1622 sind die drei Gattungen Filix, Polypodium und Ophioglossum ohne weiteres angegeben. In dem alphabetischen „Verzeichnuss" von Leopold (Deliciae sylvestres Florae Ulmensis, 1728) wird eine Anzahl Kryptogamen angeführt, ohne dass jedoch immer festzustellen wäre, welche Art gemeint ist. Jedenfalls ist manches als Art bezeichnet, was nur eine Abart oder nicht einmal soviel ist. Soweit die bei Leopold angegebenen Standorte von Interesse sind, werde ich sie beifügen.

Gross ist natürlich die Artenzahl der fraglichen Pflanzengruppe nicht. Eine Veranlassung, sie hier zusammenzustellen, gab mir die neue „Exkursionsflora für Württemberg und Hohenzollern" von Kirchner und Eichler, in welcher bei den meisten Gefässkryptogamen eine Reihe von Varietäten angegeben ist. Auf letztere hauptsächlich hatte ich es abgesehen und habe in den letzten Jahren nach ihnen in der Gegend gesucht. Freilich, alle dürften mir hiebei wohl nicht zu Gesicht gekommen sein, immerhin aber konnte ich eine Anzahl derselben an verschiedenen Standorten auftreiben. Uebrigens will mir scheinen, als ob der Unterscheidung in Varietäten jedenfalls bei den Equisetaceen nicht immer eine besondere Bedeutung beizulegen sei. Offenbar

erzeugt ein und derselbe Wurzelstock z. B. bei Equisetum palustre L. verschieden geartete oberirdische Stengel: mit oder ohne Aeste, mit kürzeren oder längeren Aesten etc., so dass von einer Varietät im eigentlichen Sinne nicht die Rede sein kann und die Erscheinung einfach auf Rechnung ungleicher Verteilung der Baustoffe zu setzen ist. Dies zeigt sich auch an Equisetum limosum L., dessen Stengelenden hie und da frühzeitig verdorren oder abgemäht werden; die Folge davon ist, dass statt einer einzigen endständigen Sporenähre an den oberen Aesten kleine, unvollkommene, zapfenförmige Aehrchen erzeugt werden und das Gebilde der Varietät polystachyum Weigel gleicht.

In der folgenden Liste bedeutet:

M. u. K. Fundortsangaben in der Flora von „Württemberg und Hohenzollern“ von Martens und Kemmler.

B. Solche in der „Flora von Blaubeuren“ von Apotheker Th. Bauer.

Lb. Standortsangaben, welche ich Herrn Bäckermeister Laible in Langenau verdanke.

I. Klasse. **Filicales.**

Unterklasse. Filices.

1. Reihe. Phanithallosae.

1. Fam. Polypodiaceae. Echte Farne.

1. Cystopteris Bernhardi. Blasenfarn.

1. Cystopteris fragilis Bernhardi. Zerbrechlicher Blasenfarn.

An schattigen Felsen und Mauern; häufig. Juli—September. Kiesen-, Lauter-, Lontal, Ulm (Brückenpfeiler am Blauring).

B: Blaubeuren, Weiler, Mönchental.

Varietäten: z dentata Hooker. Breiter Fels bei Herrlingen, Lauter- und Lontal, Urspring (Eisen-

bahnbrücke), Schönenberg bei Mähringen: Lb: beim Hohlenstein.

β. anthriscifolia Luerssen. Dobeltal bei Hagen, Lautertal; Lb.: beim Hohlenstein.

2. Aspidium Swartz. Schildfarn.

2. Aspidium Filix mas Swartz. Wurmfarn.

In Wäldern und Gebüschen; ziemlich häufig. Juli—September. Gögglinger Wald, Esels- und Schwedenwald, Talfinger Wald, Grosser Gähr, Dobeltal bei Mähringen, Kiesen- und Lontal; Lb: Englenghäu.

Varietäten: α. subintegrum Döll. Dobeltal bei Hagen, Gögglinger Wald, Lautertal.

β. crenatum Milde. Gögglinger Wald, Tiefen- und Lautertal, Lontal bei Breitingen, am Hohlenstein und bei Stetten.

3. Aspidium spinulosum Smith. Dorniger Schildfarn.

In schattigen Waldungen; ziemlich selten. Juli—August. Gögglinger Wald; B: Blaubeuren, Asch, Ringingen.

3. Scolopendrium Smith. Hirschzunge.

4. Scolopendrium Smith (Scolopendrium officinarum Swartz). Gemeine Hirschzunge.

An schattigen, feuchten Felsen; selten. Juli—September. Bei Lautern im Lautertal; B: Tiefental; Lb: Probsthalde im Englenghäu; M u. K: am Hohlenstein im Lontal.

4. Asplenum L. Milzfarn.

5. Asplenum Filix femina Bernhardi. Weiblicher Milzfarn.

In Gebüsch und feuchten Wäldern; der häufigste Farn in unserer Gegend. Juli—September. Lb: im ganzen Englenghäu; B: Asch, Wippingen, Hochsträss, Tiefental. Aendert ab:

α. dentatum Milde. Gögglinger Wald, Waldteil Hardt bei Tomerdingen, Wald östlich von Luizhausen, Stetten.

β. fissidens Milde. Gewöhnlichste Form. Gögg-

linger Wald, Kloster-, Maien- und Eselswald, Oberschelklingen, Wald bei Luizhausen, Eiselau.

γ. multidentatum Milde. Gögglinger Wald, Maien- und Eselswald, Dobeltal bei Hagen.

6. Asplenum Trichomanes L. Schwarzstieliger Milzfarn, Widerton, Steinfarn.

An schattigen Felsen; häufig. Juli—September. Beim Schwedenwald, Dobeltal bei Hagen und bei Mähringen, Kiesental, Ehrenstein, Klingenstein, Arnegg, Schelklingen, Tiefen-, Lauter-, Lontal; Lb: Englenghäu.

7. Asplenum viride Hudson. Grünstieliger Milzfarn, grüner Widerton.

An schattigen Felsen; selten. Juli—August. Im Lautertal hinter Lautern (1906); B: Tiefental.

8. Asplenum Ruta muraria L. Mauerraute.

An Felsen und Mauern; sehr häufig. Juni—September Tritt in unserer Gegend meistens in der Form α. Brunfelsii Heufler auf mit breiteren (Napoleonsfels, Schönenberg bei Mähringen, Fels im Kiesental, Arnegg, Weiler, Schelklinger Schlossfels, Tiefental, Urspring) oder schmäleren Fiederchen unter Annäherung an die Varietät leptophyllum Wallroth oder diese selbst (Festungsmauer, Schelklinger Schlossfels).

ε. elatum Lang. Beim breiten Fels unweit Arnegg.

5. Pteridium Gleditsch. Saumfarn.

9. Pteridium aquilinum Kuhn, (Pteris aquilina L.). Adlerfarn.

In lehmigen Wäldern; selten. Im grossen Gähr und im Wald zwischen Göttingen und Talfingen.

6. Polypodium L. Tüpfelfarn.

10. Polypodium vulgare L. Engelsüss.

Auf Felsen und Humusanhäufungen an Bäumen und alten Mauern; selten. August—September. Amstetten; Lb: Englenghäu; B: Seissen.

7. Phegopteris Fée. Buchenfarn.

11. Phegopteris Dryopteris Fée. Eichenfarn.
An schattigeren Felsen und in Wäldern; selten. Juli—August. Gögglinger Wald, Lautertal. Lb: Englenghäu.

12. Phegopteris Robertiana A. Braun. Storchschnabelfarn.
An Felsen und auf Steinhalden: häufig. Juli—August. Breiter Fels bei Herrlingen, Lautertal, Arnegg, Weiler, Tiefental, Schelklingen.

2. Reihe. Tuberithallosae.

2. Fam. Ophioglossaceae.

Botrychium Swartz. Mondraute.

Botrychium Lunaria Swartz. Gemeine Mondraute.
Trockene Wiesen, grasige Wälder. Juni—August. Scheint im Gebiet nicht mehr vorzukommen. Nach Leopold: unter der Linde auf dem Michelsberg und im Ried: B: früher bei Dietingen. M u. K: Blaubeuren, Ulmer Ried. Wurde mir vor mehr als 20 Jahren einmal von den „Hügelen" beim Ruhetal gebracht.

Ophioglossum L. Natterzunge.

Ophioglossum vulgatum L. Gemeine Natterzunge.
Nach Leopold „auf'm Ried nicht weit vom Weissenhorner Brücklein"; ist wohl schon lange verschwunden.

II. Klasse. Equisetales.

3. Fam. Equisetaceae. Schachtelhalme.

8. Equisetum L. Schachtelhalm.

13. Equisetum arvense L. Acker-Schachtelhalm, Zinnkraut, Katzenwedel.
Aecker, Raine, Bahndämme; sehr gemein. März—April. Dürfte auf allen Markungen anzutreffen sein. Formen:

α. agreste Klinge. Häufigste Varietät: Galgenberg, Grimmelfingen, Einsingen, Schaffelkingen, Söflingen, Jungingen, Talfingen, Asselfingen, Niederstotzingen, Stetten, Weidenstetten, Ried zwischen Ulm und Finningen, Steinheim, Pfuhl, Elchinger und Ramminger Ried.

β. ramulosum Ruprecht.

1. erectum Klinge. Gögglinger Ried, Einsingen, Schaffelkingen, Grimmelfingen, Söflingen, Beimerstetten, Niederstotzingen, Elchinger Ried, Talfingen, Pfuhl.

2. decumbens G. F. W. Meyer. Ried zwischen Ulm und Finningen, Söflingen, Asselfingen.

γ. nemorosum A. Braun. Gögglinger und Talfinger Wald.

14. Equisetum maximum Lamark. Grosser Schachtelhalm.

An nassen Abhängen und im feuchten Gehölz. Ziemlich selten. April—Mai. Unterkirchberg.

15. Equisetum silvaticum L. Waldschachtelhalm.

In feuchten, schattigen Wäldern, selten. Mai. Maienwald, Eselswald: Lb: Englenghäu.

16. Equisetum palustre L. Sumpf-Schachtelhalm.

Auf nassen Wiesen und Aeckern, in Gräben; fehlt dem eigentlichen Hochsträss und der Alb, sonst ziemlich häufig. Juni—September. Kommt in verschiedenen Varietäten vor.

α. verticillatum Milde.

1. breviramosum Klinge. Bei der Kleemeisterei, am Gögglinger Wald, im Gögglinger und Einsinger Ried, beim Kuhberg, Söflingen, im Arnegger Ried, Festungsgraben beim Blaubeurer Tor, Unterelchingen, Weisingen, Steinheim.

2. longiramosum Klinge. Blaubeurer Tor, Ruhetal, Söflingen, Kuhberg, Einsinger und Arnegger Ried, Finningen, Steinheim, Ramminger Ried.

3. pauciramosum Bolle. Bei der Kleemeisterei, Einsinger und Arnegger Ried, Söflingen, Ruhetal, Unterelchingen, Ramminger Ried, Weisingen, Steinheim, Finningen.

6. polystachyum Weigel. Gögglinger und Einsinger Ried, Söflingen.

β. simplicissimum A. Braun.

2. tenue Döll. Bei der Kleemeisterei, Einsinger und Arnegger Ried, Steinheim, Weisingen, Ramminger Ried.

17. Equisetum limosum L. Schlamm-Schachtelhalm.

In stehenden, sumpfigen Gewässern, besonders in den Altwässern der Donau: häufig. Mai—Juni.

α. fluviatile L.

1. brachycladon Döll. Ulm, Arnegger Ried.

2. leptocladon Döll. Altwasser am Gögglinger Wald.

3. attenuatum Milde. Häufigste Form in unserer Gegend. Im Festungsgraben beim Blaubeurer Tor, Arnegger Ried, im Altwasser bei Klingenstein, bei der Kleemeisterei, am Gögglinger Wald, Oberkirchberg, Weisingen, Unterelchingen.

β. Linnaeanum Döll. Blaubeurer Tor, Arnegger Ried, Altwasser am Gögglinger Wald und im Gögglinger Ried, Oberkirchberg, Finningen, Unterelchingen, Weisingen.

Equisetum hiemale L. Winterschachtelhalm. M u. K nach Valet: Ulm im Gehölz an der Iller. Ob noch?

18. Equisetum variegatum Schleicher. Bunter Schachtelhalm.

Kirchner und Eichler: Wiblingen, am Schmiecher See. Herr Laible glaubt, diese Art schon im Westerried gesehen zu haben.

III. Klasse. **Lycopodiales.**

Unterklasse. Isosporae.

4. Fam. Lycopodiaceae. Bärlappgewächse.

9. Lycopodium L. Bärlapp.

19. Lycopodium clavatum L. Gemeiner Bärlapp, Schlangenmoos.
In Nadelwäldern; selten. Juli—August. Früher im Gögglinger Wald; ob jetzt noch? B: Seissen, Wippingen; Lb: Englenghäu. Nach Leopold bei Scharenstetten.

Beiträge zur Ulmer Flora.

Zusammengestellt von Prof. **Haug.**

I. Pflanzen, welche schon früher in der Ulmer Gegend vereinzelt aufgetreten sind, jedoch an anderen Standorten, von denen sie jetzt verschwunden sind:

Rapistrum rugosum All. Rapsdotter.
1906 im Oerlinger Tal.

Melilotus caeruleus Lam. Schabziegerkraut.
1906 am Kienlesberg und im Oerlinger Tal.

Vicia pannonica Crtz. Ungarische Wicke.
1906 im Oerlinger Tal.

Anthemis austriaca Jacq. Oesterreichische Kamille.
1906 auf Schutt im Oerlinger Tal.

Centaurea solstitialis L. Sonnenwende-Flockenblume.
1907 beim Stuttgarter Tor.

II. Pflanzen, welche — soviel mir bekannt — zum erstenmal hier gefunden wurden:

Silene conoidea L. Kugelfrüchtige Pechnelke.
1907 auf Schutt im Oerlinger Tal (von einem Schüler gefunden).

Trifolium resupinatum L. Sommer-Erdbeerklee.
1906 Festungswall beim Blaubeurer Tor (von einem Schüler gefunden),
1907 im Oerlinger Tal (Hr. Mittelschullehrer Hartmann.)

Galega officinalis L. Gebräuchlicher Gaisklee.
1906 auf einem Weg neben einem Spargelfeld am Kuhberg.

Verbascum Schiedeanum Koch = V. nigro-Lychnitis Schiede. Wollkraut.
1906 b. Pionierübungsplatz (v. einem Schüler gebracht)
1907 im Tiefental, Urspring.

Helminthia echioides Gärt. Natterkopfartiges Wurmkraut.
1906 an der Böschung des neuen Bahngeleises nach Söflingen, 1907 in einem Garten beim Ruhetal.

Carduus nutanti-crispus Sonder. Distel.
1907 neben C. crispus L. am linken Donauufer beim Exerzierplatz (Hr. Prof. Kleinfelder).

Ueber Bausteine.

Von Dr. G. Leube.

Am 24. Juni 1906 bei der Versammlung des Vereins für vaterländische Naturkunde zeigte ich u. A. den Teilnehmern ein Stück eines Sandsteines von unserem Münster, das die Form einer Röhre hatte und von einer Stelle der Treppe am südöstlichen Chorturme sich abgelöst haben soll.

Ich richtete an die Anwesenden die Frage, ob mir Jemand Auskunft geben könne, wie sich dieses Vorkommen wohl gebildet habe. Es meldete sich Niemand zum Wort.

Am 10. Oktober 1906 erhielt ich einen Brief von Bonn von Herrn J. Block, der sich wegen der Neckarsandsteine, die am Dome in Köln verarbeitet (verwendet) worden sind, an Herrn Prof. Dr. Eb. Fraas gewendet hatte. Herr Prof. Fraas hatte dem genannten Herrn den Rat gegeben, an mich zu schreiben, ohne Zweifel in der Erinnerung an das obige Vorzeigen.

Ich trat mit Herrn Block in Briefwechsel, der mich zu der Ueberzeugung brachte, dass ich es mit einer höchst wichtigen Frage zu tun habe, so dass ich mich entschloss, dieselbe in unserem Verein zur Sprache zu bringen.

Wenn ich über „Bausteine“ spreche, so habe ich ein weitgehendes Tema genannt, das ich zu eingehend nicht behandeln will, denn jeder Stein, der zum Bauen eines Hauses oder eines Bauwesens überhaupt verwendet wird, ist Baustein. In den meisten Fällen nimmt man zum Bauen einen Stein, der sich in der Nähe der Baustelle findet, selbst wenn er nicht allgemein beliebt ist.

In Ulm befinden sich in der nächsten Umgebung Kalksteine und ausserdem werden uns aus der Neckargegend Sandsteine zugeführt, die neben „Ziegeln“ das Hauptbaumaterial seit Jahren bildeten.

Bei dem grössten und bedeutendsten Bauwesen unserer Stadt, dem Münster, sind diese 3 genannten Steinsorten verwendet.

Lassen Sie uns bei diesen verweilen.

Dass Ziegel (Backstein), besonders wenn gut gebrannt und kalkfrei, ein vortreffliches Baumaterial sind, ist seit Alters bekannt.

Vom Kalkstein wissen wir, dass er je reiner er ist, desto besser zum Baustein sich eignet. Wir besitzen im Blautale im Weissen Jura z. Felsen, die aus zu 99,20 50% kohlensaurem Kalk bestehen und so rein wie Carara-Marmor sind. Diese Kalke sind zum Münster und vielen Bauten im alten Ulm verwendet worden, so z. B. am Kornhaus, am Schwörhaus, am Neuenbau (Kameralamt) etc.

In späteren Zeiten griffen unsere Baumeister lieber zu den „Sandsteinen."

Wenn der Sandstein in der Hauptsache aus reinen Quarzkörnern SiO_2 besteht, ist er ein höchst empfehlenswerter haltbarer Werkstein und finden wir Baudenkmale von mehreren (verschiedenen) Hundert Jahren Alter, die sich gut erhalten haben, an denen der Zahn der Zeit nur langsam nagt. Leider finden wir aber sowohl am Ulmer Münster als auch am Kölner Dom jetzt nach 40—50 Jahren so stark verwitterte Stellen, ja auch an Bauten im ganzen Württemberger Lande finden wir viele verwitterte Sandsteine, die uns wegen fernerer Verwendung von „Sandsteinen" bedenklich machen.

Da fragt man sich, wo rührt das her.

Wie vorhin gesagt, besteht der Sandstein aus Quarzkörnern, die durch einen gewissen Kitt zusammengehalten werden. Dieser Kitt besteht teilweise aus Calciumverbindungen, oder aus Ton.

Es ist eine längst bekannte Tatsache, dass, wenn der Gehalt an Kalk oder Ton im Sandstein über Spuren derselben hinausgeht, der Sandstein leicht verwittert.

Der Verwitterungsprozess kann erzeugt werden von chemischen aber auch von mechanischen Einflüssen.

Die chemischen Zersetzungen rühren von Salpeterbildung und von Schwefelsäure her, die letztere besonders seit Benützung der Steinkohle zur Feuerung.

Die mechanischen Einwirkungen beruhen auf dem Einflusse des Wassers und der Sonne.

Am hiesigen Münster ist u. A. die Beobachtung gemacht worden, dass die Verwitterung am heftigsten auf der Ostseite auftritt, während sonst die Westseite als die vom Wetter mehr beeinflusste Seite gilt.

Diese Erscheinung mag davon herrühren, dass bei kalten Ostwinden, wenn das Wasser an und in den Steinen sich in Eis verwandelt hat, die aufgehende Sonne zuerst ihr Zerstörungswerk ausübt, während auf den andern Seiten das Eis nach und nach schmilzt und dadurch die Einwirkung weniger intensiv ist. —

Die 2 ersten Münsterbaumeister Thrän und Scheu haben besonders den Neckarsandstein von Neckardenzlingen und Nürtingen verwendet und waren mit denselben zufrieden, es wurde auch anfangs die Zersetzung weniger beobachtet. Im Jahre 1883 habe ich im Auftrag des Münsterbaumeisters von Beyer öfters Untersuchungen von Sandsteinen auszuführen gehabt. Beyer war mit den angelieferten Neckarsandsteinen nicht mehr zufrieden und hat sich zum Ausbau des Hauptturmes dann auch für den Stein von Oberkirchen in Hannover entschieden. Dieser Stein zeigte damals 96,50 % rein SiO_2 und nur ganz kleine Mengen von Al_2O_3 mit Fe_2O_3 und wenig $CaCO_3$.

Dass in Köln eine ansehnliche Verwitterung sich in den letzten Jahren gezeigt hat, mag von der grossen Verwendung der Steinkohle zum Teil herrühren, vielleicht auch von der mit weniger vorsichtig gehandhabten Auswahl der Steine zusammenhängen, welche s. Z. beim Bau der Kölner Türme in grossen Massen angeliefert worden sind, von deren Versendung auf dem Neckar über Cannstatt nach Mannheim und von da auf dem Rhein alte Leute noch zu erzählen wissen. —

Diese unangenehmen Erscheinungen und auch der hohe Preis der natürlichen Steine haben zur Herstellung von Kunststeinen geführt, die besonders in Ulm in den letzten Jahren Eingang gefunden haben und immer noch mehr finden dürften.

Es sind Versuche im Gange (die Zusammensetzung), die Masse, die zur Herstellung der Kunststeine verwendet wird, auch zur Ausbesserung der verwitterten Sandsteine zu verwenden, an deren Erfolg ich nicht zweifle.

Mitteilungen

des

Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften

in

Ulm a. D.

Vierzehntes Heft.

INHALT:

Chronik:

	Seite
1) Vereinsversammlungen in den Jahren 1908 und 1909	III
2) Mitgliederverzeichnis	VI
3) Ausschuss in den Jahren 1908 und 1909	VII

Wissenschaftliche Mitteilungen:

1) Die Gefahren der Elektrizität und die Mittel, denselben vorzubeugen. Mit einem Anhang: Die mutmassliche Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe bei Echterdingen und die sich daraus ergebenden Lehren. Von Prof. Sauter.	1
2) Ionen- und Elektronen-Theorie. Von Stabsarzt Dr. Sedlmair. .	97
3) Über den Bildungswert der mathematischen Wissenschaften. Von Dr. E. Löffler.	115
4) Licht als Heilmittel. Von Dr. med. K. Assfalg.	138
5) Über angeborene und erworbene Immunität. (Mischinfektion.) Von Stadtarzt Dr. K. Sing.	154
6) Die hygienischen Forderungen an die Milch als Nahrungsmittel für Kinder und Erwachsene. Von Stadttierarzt Dr. Rössle. . .	168
7) Bohrversuche auf mineralische Kohlen in Württemberg. Von Prof. A. Haug.	188
8) Wie lässt sich der Auftrieb und die senkrechte Geschwindigkeit eines Luftschiffs messen? Von Oberstudienrat Neuffer. .	205
9) Beiträge zur Ulmer Flora. Von Prof. A. Haug.	220

506
ULM
V14

Vereinsversammlungen in den Jahren 1908 und 1909.

Am 13. Januar 1908.

Vortrag von Prof. Sauter über „Die Gefahren der Elektrizität." II. Teil.

Am 3. Februar 1908.

43. Stiftungsfest. Der I. Vorsitzende berichtet über die Vereinstätigkeit im abgelaufenen Jahr. — Rechnungsablage und Entlastung für den Rechner. Neuwahl des Ausschusses.

Am 17. Februar 1908.

Kein Vortrag wegen zu geringer Beteiligung.

Am 9. März 1908.

Vortrag von Stadttierarzt Dr. Rössle über „Die hygienischen Anforderungen an die Milch als Nahrungsmittel."

Am 23. März 1908.

Vortrag von Prof. Haug über „Das Leben der Wasserpflanzen."

Am 13. April 1908.

Vortrag von Rechtsanwalt Teichmann über „Entstehen und Erlöschen der Alpenseen."

Am 11. Mai 1908.

Nachruf für den am 2. Mai 1908 verstorbenen Hofrat Dr. Wacker, das älteste schon im Februar 1865, wenige Wochen nach der Gründung des Vereins eingetretene Mitglied, seit 1895 Ehrenmitglied.

Am 3. Oktober 1908.

Ausflug in das Illertertiär bei Oberkirchberg, veranstaltet durch unser Mitglied Herrn Baurat Angele.

Am 26. Oktober 1908.

Der I. Vorstand hält den im vorangegangenen Sommer verstorbenen Vereinsmitgliedern Kommerzienrat Engel, Kaufmann Wilh. Bek sen. und Prof. Leibbrand einen Nachruf.

Vortrag von Prof. Claus über „Die Nutzpflanzung, die Amerika der alten Welt geliefert hat."

Am 23. November 1908.

Vortrag von Stabsarzt Dr. Sedlmaier über „Ionen- und Elektronentheorie."

Am 14. Dezember 1908.

Dr. med. Krauss berichtet über die diesjährige Naturforscherversammlung in Köln.

Am 11. Januar 1909.

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Löffler über „Den Bildungswert der Mathematik."

Am 25. Januar 1909.

Rechnungsablegung und Entlastung des Rechners. Der seitherige Ausschuss wird durch Akklamation wiedergewählt.

Vortrag von Prof. Haug über „Bohrversuche in Württemberg nach Kohle."

Am 8. Februar 1909.

Vortrag von Bauinspektor Maier über „Die Donauversickerung."

Am 8. März 1909.

Vortrag von Stadtarzt Dr. Sing über „Angeborene und erworbene Immunität."

Am 22. März 1909.

Der Verein bewilligt einen Beitrag von 50 Mark zu Gedenktafeln für Tobias Mayer und Friedrich Bohnenberger.

Vortrag von Prof. Sauter über „Die mutmasslichen Ursachen der Zeppelinschen Katastrophe."

Am 3. Mai 1909.

Vortrag von Dr. Assfalg über „Das Licht als Heilmittel."

Am 11. Oktober 1909.

Vortrag von Prof. Claus über „Zwei fast vergessene Ulmer Entdecker."

Am 1. November 1909.

Vortrag von Oberstudienrat Neuffer über die Frage: „Wie lässt sich der Auftrieb und die Geschwindigkeit eines Luftschiffs messen?"

Am 22. November 1909.

Vortrag von Prof. Haug über „Die Plattenkalke bezw. weissen Jura ζ der Ulmer Gegend."

Am 13. Dezember 1909.

Vortrag von Prof. Sauter über „Die Anwendung der Elektrizität auf die Pflanzenkultur und über einige neue Fortschritte im Gebiet der Fernsprechung."

Mitglieder-Verzeichnis.

1) Angele, Baurat.
2) Dr. med. Assfalg.
3) Bader, Apotheker.
4) Bracher, Kaufmann.
5) Braun, Baurat.
6) Brost, Professor.
7) Bruckmann, Apotheker.
8) Dr. Buhl, Stabsarzt.
9) Dr. v. Burk, Generalarzt.
10) Claus, Professor.
11) Daigeler, Direktor.
12) Dieterlen, Professor. Ehrenmitgl.
13) Ebner, Redakteur.
14) Engel, Karl, Kaufmann.
15) Dr. med. Fischer.
16) Frank, Oberforstrat a. D.
17) Haas, Baurat.
18) Hahn, Leutnant.
19) Haug, Professor.
20) Hausch, Privatier.
21) Dr. med. Hegele.
22) v. Heider, Landgerichtsdirektor.
23) Hölder, Hauptmann.
24) Hörz, Turmuhrenfabrikant.
25) Hosch, Professor.
26) Dr. Hubbauer, Oberstabsarzt a. D.
27) Dr. Jäger, Medizinalrat.
28) Dr. Kauffmann, Augenarzt.
29) Kienzle, Architekt.
30) Kleinfelder, Professor.
31) Dr. med. Klemm.
32) Dr. med. Krauss.
33) Dr. Leube, Apotheker, Ehrenmitgl.
34) Leube, O., Fabrikant.
35) Dr. med. Liebert.
36) Dr. Löffler, Oberreallehrer.
37) Lusser, Professor.
38) Magirus, O., Fabrikant.
39) Magirus, Rektor.
40) Maier, Stadtbaurat.
41) Dr. Majer, Sanitätsrat.
42) Mangold, Lehrer.
43) Marmein, Professor.
44) Dr. med. Mayer, Assistenzarzt.
45) Dr. med. Mendler.
46) Messer, Feuerwerkshauptmann.
47) Neuffer, Oberstudienrat.
48) Dr. med. Palm.
49) Pfeilsticker, Oberregierungsrat Ehrenmitglied.
50) Pflüger, Präzeptor.
51) Reichardt, Direktor.
52) Renz, Ingenieur.
53) Romann, Stadtbaurat.
54) Dr. Rössle, Stadttierarzt.
55) Salvisberg, Leutnant.
56) Sartorius, Leutnant.
57) Sauter, Professor.
58) Schabel, Oberstleutnant.
59) Dr. Schall, Apotheker.
60) Schefold, Oberstleutnant.
61) Schimpf, Oberbaurat.
62) Schreyack, Garnisonsverwaltungs-Direktor.
63) Schreyer, Leutnant.
64) Dr. Schuon, Oberstabsarzt.
65) Schwenk, Kommerzienrat.
66) Siegeneger, Regierungsrat.
67) Dr. Sing, Stadtarzt.
68) Dr. Spohn, Gerhausen-Blaubeuren
69) Völter, Leutnant.
70) v. Wagner, Oberbürgermeister.
71) Wechssler, Privatier.
72) Weisheit, Bankier.
73) Weller, Professor.
74) Dr. med. Ziegler.

Gestorben:

Privatier Oskar Leuze.
Hofrat Dr. Wacker. Ehrenmitglied.
Professor Leibbrand.
Kommerzienrat Engel.
Kaufmann W. Bek sen.
Dr. Wacker jun.
Rechtsanwalt Teichmann.

Ausschuss in den Jahren 1908 und 1909:

I.	Vorsitzender:	Oberstudienrat Neuffer.
II.	„	Dr. med. Krauss.
I.	Schriftführer:	Professor Claus.
II.	„	Dr. Leube.
	Bibliothekar:	Professor Haug.
	Rechner:	Präzeptor Pflüger.

Die Gefahren der Elektrizität und die Mittel denselben vorzubeugen.

Mit einem Anhang:

Die mutmassliche Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe bei Echterdingen und die sich daraus ergebenden Lehren.

Von Professor **Sauter** in **Ulm.**

Einleitung.

Die grossen Erfolge der Elektrotechnik, welche ihr einen so hervorragenden Platz im Leben der Kulturvölker zuweisen, verdankt sie nicht zuletzt dem Umstande, dass es der Wissenschaft auf diesem technischen Gebiete gelungen ist, die Naturgewalten mit einer Genauigkeit zu begrenzen und mit einer Feinheit zu messen, wie es sonst nirgendswo der Fall ist. Daher erfüllt es uns, ausser mit dem Gefühle der Vornehmheit und der Bequemlichkeit, auch mit dem der Sicherheit und der Beruhigung, wenn wir von irgend einem Betriebe hören, er sei elektrisch geworden. Wo aber viel Licht ist, da ist auch Schatten. Dieser alte Satz gilt auch für unsere technischen Errungenschaften. Der Erfindung der Eisenbahnen folgten die Eisenbahnunfälle, der Erfindung der Dampfmaschinen folgten die Kesselexplosionen und die allgemeine Anwendung der Elektrizität brachte uns die Verletzungen und Tötungen durch den elektrischen Starkstrom und die Brandfälle durch elektrische Anlagen. Wenn es auch, wie vielleicht sonst auf keinem anderen Gebiete, gelungen ist, auf dem Gebiete der Elektrotechnik die Gefahren der Elektrizität durch sorgfältig ausgearbeitete Sicherheitsvorschriften auf ein Minimum zu reduzieren, so darf man andererseits doch auch nicht so weit gehen und einfach behaupten, dass die elektrischen Anlagen überhaupt gar keine Gefahr in sich einschliessen und nur von „eingebildeten", bezw. „vermeintlichen" Gefahren reden, wie dies Prof. Kübler in Berlin, im Februar 1906, auf der Hauptversammlung der Schiffs-

Eingebildete, bezw. vermeintliche Gefahren der Elektrizität.

bautechnischen Gesellschaft, in Gegenwart des Kaisers, getan hat. Prof. Kübler sagte unter anderem damals wörtlich: „Ich habe bei mehr als 15jähriger Erfahrung in der praktischen und wissenschaftlichen Elektrotechnik nach reiflicher Prüfung aller Einzelheiten keinen sachlichen Grund finden können, der die Behauptung des Vorhandenseins einer gegenüber anderen alltäglichen Einrichtungen besonderen Gefährlichkeit elektrotechnischer Anlagen rechtfertigen könnte."

Diese Behauptung des Prof. Kübler ist mit Recht von verschiedenen Seiten missfällig beurteilt worden: der Versuch, die elektrischen Anlagen als völlig ungefährlich hinstellen zu wollen, widerspricht allen bisherigen Anschauungen und Erfahrungen. Nur von „vermeintlichen" Gefahren der Elektrizität zu reden, wie dies Prof. Kübler tat, ist nicht gerechtfertigt, denn die Elektrizität bringt tatsächlich Gefahren mit sich, und zwar Unfälle und Brandschäden.

Statistik über die elektrisch. Unfälle in Deutschland.

Was die Zahl der Unfälle in Deutschland anbelangt, so ist dieselbe, obwohl in Deutschland tagtäglich Millionen von Menschen mit elektrischen Lampen und Motoren umgehen, in elektrisch betriebenen Fabriken arbeiten, oder in elektrischen Bahnen fahren, eine verhältnismässig kleine. Zum allergrössten Teil betreffen sie übrigens nicht das Publikum, sondern Elektromonteure und Elektroingenieure, die infolge des ständigen Umgangs mit der Gefahr sorglos geworden sind und vielfach die allereinfachsten Vorsichtsmassregeln ausser acht lassen.

Über die durch Elektrizität verursachten Todesfälle liegt bis jetzt in Deutschland kein amtliches Material vor. Das für die Unfälle vorliegende Material von Deutschland ist übrigens nicht ganz zuverlässig. Das deutsche Reichsgesundheitsamt sammelt diese Fälle nicht. Die in einzelnen Privat-Statistiken aus den vor dem Jahr 1900 stammenden Zahlen geben indes insofern kein richtiges Bild, als i. J. 1896 von dem Verbande deutscher Elektrotechniker sehr strenge Sicherheitsvorschriften für die Errichtung elektrischer Anlagen herausgegeben worden sind. Diese Vorschriften haben naturgemäss nur langsam Eingang gefunden, so dass man erst vom Jahre 1900 ab von einem nennenswerten Gebrauch derselben reden kann und somit erst die nach dem Jahre 1900 gewonnenen statistischen Zahlen ein annähernd richtiges Bild ergeben. Was die tötlichen Unfälle anbelangt, so liegt für Preussen wenigstens für das Jahr 1905

einiges Material vor und zwar in der „Statistischen Korrespondenz" vom 23. Februar 1907. Danach haben sich im genannten Jahr in Preussen 14 714 tötliche Unfälle ereignet. Von diesen entfallen auf die Land- und Forstwirtschaft 2938 = 24,92 %, auf Bergbau und Hüttenwesen 1833 = 15,54 %, auf die Industrie 3471 = 29,44 % und auf den Handel und Verkehr 1597 = 15,54 %. Von den 5304 Todesfällen, die insgesamt im Maschinenbetriebe und im Bergbau und Hüttenwesen zu rechnen sind, werden 31 Fälle auf den elektrischen Strom zurückgeführt, d. h. es sind im Gebiete des Bergbaus, des Hüttenwesens und der Industrie nur ca. 0,6 Prozent der vorkommenden Todesfälle durch die Elektrizität veranlasst. Von den gesamten im Jahr 1905 in Preussen tötlich verlaufenen Unfällen betragen die elektrischen nur 0,21 Prozent. Der Anteil der Elektrizität an der Gesamtzahl der Unfälle ist also ein verhältnismässig geringer, wenn man bedenkt, dass durch Überfahren 2388 Personen getötet wurden (= 16,2 %) [davon allein 40, das sind 0,27 % durch Automobile], durch Radfahren 73 Todesfälle = 0,36 % und durch Ertrinken etwa 25 % Todesfälle verursacht werden. Wenn man auch im allgemeinen sagen kann, dass die Zahl der elektrischen Unfälle im Vergleich mit der gewaltigen Ausdehnung der elektrischen Anlagen verhältnismässig gering ist, so bleibt doch immer zu wünschen, diese Ziffer noch weiter durch Vorsichtsmassregeln herunterzudrücken, soweit dies erreichbar ist, ohne die elektrische Betriebsweise übermässig zu erschweren.

Statistik über die elektr. Unfälle in preuss. Berg-, Hütten- u. Salinenbetrieben vom Jahre 1905.

Recht lehrreich ist auch die folgende kleine Zusammenstellung, die sich auf die elektr. Unfälle bezieht, die i. J. 1905 in Berg-, Hütten- und Salinenbetrieben in Preussen sich ereignet haben. Die betreffende Statistik entstammt der „Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen" und ist auf Grund amtlicher Quellen bearbeitet worden. Auf Grund dieser Unfallstatistik wurden

	verletzt	getötet	zus.
1) im normalen Betriebe	10	—	10
2) bei Reparaturen, Umbauten, Revision.	6	9	15
3) durch Mutwillen oder gelegentl. verbot. Aufenthalt in Hochspannungsräumen	2	3	5
4) durch Ausgleiten mit elektr. Klemmen oder Leitungen in Berührung gekommen	3	2	5
5) durch Unvorsichtigkeit	—	1	1

d. h.:
verletzt . . 21
getötet . . 15
zusammen 36

Aus dieser Zusammenstellung ersehen wir, dass im normalen Betriebe (cf. Nr. 1) nur einfache Verletzungen und gar keine Todesfälle vorgekommen sind. Die Zahl der Verletzungen im gewöhnlichen Betriebe kann man als eine ausserordentlich niedrige bezeichnen, sie ist ein Beweis für die heutige sorgfältige Bauart der elektrischen Anlagen.

Erheblich gefährlicher aber als der normale Betrieb erwies sich die Vornahme der Reparaturen, Umbauten und Revisionen (cf. Nr. 2 der obigen Zusammenstellung). 15 von 36, d. h. ungefähr 42% aller Unfälle und 9 von 15, d. h. 60% aller Todesursachen sind hiebei eingetreten. Immer wieder zeigt es sich, dass Versehen der Monteure und Arbeiter vorkommen, dass sie Klemmen und Leitungen und Schalter anfassen, welche sie glauben, selbst ausgeschaltet zu haben und welche sie überhaupt für „nicht unter Spannung stehend" halten.

Die Unfälle, die durch Mutwillen oder durch gelegentlich verbotenen Aufenthalt in Hochspannungsräumen verursacht werden |(cf. Nr. 3) der obigen Zusammenstellung| bedürfen kaum einer Erwähnung. Nur ist es als wünschenswert zu bezeichnen, dass Räume, in denen überhaupt Hochspannung vorhanden ist, nur instruierten Leuten zugänglich gehalten werden, sowie dass an Fenstern, an denen Hochspannungsleitungen in, wenn auch nur mit Mutwillen erreichbarer Nähe, vorbeiführen, Warnungsanschläge angebracht werden.

Eine Reihe weiterer Unfälle (cf. Nr. 4), darunter 2 tötliche, sind dadurch verursacht worden, dass Leute, die mit dem elektrischen Betrieb gar nichts zu tun hatten, sondern nur Arbeiten in der Nähe vornahmen, ausglitten, sich an den Leitungen festhielten und zum Teil daran hängen blieben.

Statistik der Berufsgenossenschaft f. Feinmechanik u. Elektrotechn. über elektr. Unfälle in den Jahren 1892 bis 1907 einschl.

Eine andere, interessante, Statistik ist die, über welche Ober-Ingenieur Seidel von der Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik in der 15. Hauptversammlung des Vereins der Revisions-Ingenieure der Berufsgenossenschaften einen Vortrag gehalten und in der „Sozialtechnik" veröffentlicht hat. Das betreffende Material umfasst die in den Jahren 1892 bis 1907 vorgekommenen Unfälle durch Elektrizität, die in der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik vorgekommen sind. Da nun dieser Berufsgenossenschaft die grösste Zahl der Elektrizitätswerke und selbständigen elektr. Einzelanlagen, sowie beinahe sämtliche elektrotechnischen Stark-

strom-Installationsbetriebe des deutschen Reichs zugehören, so dürfte das vorliegende Material eine erhebliche Anzahl der überhaupt vorgekommenen Unfälle umfassen.

Von den seit dem Jahre 1892 bis einschliesslich 1907 von der gesamten Berufsgenossenschaft entschädigten Unfällen, insgesamt 12 171, sind nur 250 durch elektr. Strom veranlasst, also nur 2,1 %. Von den 250 Verletzten gehörten

195, d. h. 78 % zu den elektrotechnischen Berufsarbeitern, also zu dem sog. unterwiesenen Personal,

25, d. h. 10 % zu anderen Berufsarbeitern (Schlossern, Malern u. s. w.)

und 30, d. h. 12 % zu den ungelernten Hilfsarbeitern.

Von den entschädigten Unfällen bestanden

118, d. h. 47 % in Verbrennungen,

12, d. h. 5 % in Verletzungen der Augen durch Blendung, Entzündung u. s. w.,

29, d. h. 12 % in Störungen des Nervensystems,

41, d. h. 16 % führten zu Absturz von Leitern, Dächern, Gerüsten u. dergl.

und 94, d. h. 37 % hatten den Tod zur Folge.

[Anmerkung: Da einige Unfälle ausser Brandwunden noch andere Verletzungen veranlassten, so sind sie in mehreren der vorstehenden Gruppen gezählt.]

Die Zahl der Todesfälle ist nicht erschreckend, wenn berücksichtigt wird, dass diese 94 Todesfälle sich auf 16 Jahre verteilen.

Von den i. J. 1907 in der Berufsgenossenschaft ständig entschädigungspflichtig gewordenen insgesamt 1468 Unfällen waren 54 und von insgesamt 64 Todesfällen waren 19 auf elektr. Strom zurückzuführen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass allein in Preussen sich im Jahre 1906 im ganzen 14 825 tötliche Unglücksfälle ereigneten, davon nur 43, also noch nicht 0,08 % durch elektr. Strom verschuldet wurden. Es beweist das, wie gering der Anteil der durch elektr. Strom verursachten Todesfälle im Verhältnis zur Gesamtzahl der tötlichen Unglücksfälle ist. (Worauf übrigens schon weiter oben, bei Besprechung der Unglücksfälle vom Jahr 1905, hingewiesen wurde.)

Nicht schlechter, sondern wesentlich günstiger ist das Verhältnis der nicht tötlichen elektr. Unfälle zur Gesamtzahl der Unfälle, weil unter den elektr. Unfällen die Todesfälle einen

verhältnismässig hohen Prozentsatz erreichen. Wie eben bemerkt, waren 37% der von der Berufsgenossenschaft entschädigten elektr. Unfälle Todesfälle, während von den 12 171 Gesamtunfällen noch nicht 4% Todesfälle, einschliesslich der elektrischen, waren.

Von den oben erwähnten 250 elektr. Unfällen ereigneten sich
68, d. h. 27,2% der Unfälle in Gleichstromanlagen,
142, d. h. 56,8% „ „ in Wechselstromanlagen,
während es bei den übrigen
40, d. h. 16% „ „ zweifelhaft ist, ob sie auf Gleich- oder Wechselstrom zurückzuführen sind.

In Niederspannungsanlagen (bis 250 Volt gegen Erde) kamen 34, d. h. 13,6% der Unfälle vor und zwar
19, d. h. 7,6% in Gleichstrom-Niederspannungsanlagen
und 15, d. h. 6 % in Wechselstrom- „

Ferner kamen in Hochspannungsanlagen (über 250 Volt gegen Erde) vor 127, d. h. 50,8% der Unfälle und zwar
41, d. h. 16,4% in Gleichstrom-Hochspannungsanlagen
86, d. h. 34,4% in Wechselstrom- „
während bei
89, d. h. bei 36% der Unfälle sich nicht mehr feststellen liess, ob der Unfall durch Umgang mit Niederspannung oder mit Hochspannung veranlasst wurde.

Es sind somit in Hochspannungsanlagen beinahe 4mal so viele Unglücksfälle zu verzeichnen als in Niederspannungsanlagen und doppelt soviele Unfälle in Wechselstromanlagen als in Gleichstromanlagen.

Dass die Hochspannungsanlagen gefährlicher sind als die Niederspannungsanlagen ist selbstverständlich. Es darf jedoch aus den obigen Zahlen nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass die Niederspannungs-Wechselstromanlagen weniger gefährlich als Niederspannungs-Gleichstromanlagen sind, einerseits weil die Anzahl der entschädigten Unfälle (19 Gleichstrom- und 15 Wechselstrom-Unfälle) an sich zu gering ist, um hieraus allgemeine Schlüsse ziehen zu können, andererseits weil Zahl und Umfang der Anlagen berücksichtigt werden müssen, auf die diese Umstände sich verteilen. Leider gibt es über die Verbreitung des Gleichstroms im Verhältnis zu der des Wechselstroms keine statistischen Aufstellungen.

Was die Frage anbelangt, auf welche Vorgänge die oben erwähnten elektr. Unfälle zurückgeführt werden können, so kamen durch Berührung einer blanken oder ungenügend isolierten Leitung bei gleichzeitiger, mehr oder minder vollkommenen leitenden Verbindung des Verletzten mit der Erde 135 Unfälle vor, d. h. 54% der Unfälle; durch gleichzeitige Berührung mehrerer blanker oder ungenügend isolierter Leitungen, 32 Unfälle, d. h. 13%, durch Kurzschlüsse, die ohne festzustellendes Verschulden der Verletzten auftraten, 43 Unfälle, d. h. 17%, während in 40 Fällen, d. h. in 16% der Unfälle, der Hergang des Unfalls nicht festgestellt werden konnte.

Was die Ursache der obigen elektr. Unfälle anbelangt, so wurden 6 Unfälle veranlasst durch schlechten Isolationszustand der Anlagen, 5 Unfälle sind auf Übertreten von Hochspannung in Niederspannungsnetze, 171 Unfälle auf Unvorsichtigkeit der Verletzten und 11 Unfälle auf Unvorsichtigkeit Anderer zurückzuführen, während 1 Unfall absichtlich herbeigeführt wurde, 42 durch unglücklichen Zufall entstanden (Sturz, Ausgleiten u.s.w.) und in 14 Fällen die Ursache nicht aufgeklärt werden konnte.

Bei weitem am zahlreichsten sind in dieser Gruppierung die Unfälle, die durch eigene Unvorsichtigkeit der Verletzten herbeigeführt worden sind; sie machen beinahe 70% der gesamten entschädigten Unfälle aus.

Ein gleiches Ergebnis hat die Statistik der elektr. Unfälle in der Schweiz, wo im Jahre 1905 62% und im Jahre 1906 59% der vorgekommenen Unfälle durch Unachtsamkeit veranlasst worden sind.

Im Laufe der Jahre hat eine nicht unerhebliche Steigung der Anzahl der Unfälle durch elektr. Strom stattgefunden. Diese Unfälle, für welche die Entschädigungspflicht der Berufsgenossenschaft immer erst einige Monat später, zum Teil sogar erst nach mehr als Jahresfrist festgelegt wird, verteilen sich auf den Zeitraum von 1892 bis einschliesslich 1907 wie folgt:

Unfalljahr:	Zahl der Unfälle:	Zahl der Todesfälle:
1892	1	0
1893	1	1
1894	3	1
1895	5	3
1896	5	1

Unfalljahr:	Zahl der Unfälle:	Zahl der Todesfälle:
1897	4	1
1898	8	2
1899	19	7
1900	23	10
1901	30	9
1902	17	9
1903	21	5
1904	14	5
1905	23	11
1906	43	13
1907	33	16

(Die Zahlen für 1907 werden noch eine Erhöhung erfahren, weil noch eine Anzahl von Unfällen aus diesem Jahre später entschädigungspflichtig werden, während die im Jahr 1907 entschädigungspflichtig gewordenen, aber aus früheren Jahren stammenden Unfälle, jenen Jahren zugezählt sind.)

Die starke Zunahme der Unfälle findet ihre einfache und ausreichende Erklärung in der beispiellos schnellen Entwicklung, welche die Verwertung elektr. Energie in diesem Zeitraum aufweist. Während am Schlusse des Jahres 1892 sich im deutschen Reiche nur 66 Elektrizitätswerke bescheidener Ausdehnung befanden, waren am 1. April 1907 deren 1530 im Betrieb, also die 23fache Anzahl nach 15 Jahren.

Zum Schluss dieser Statistik sei noch erwähnt, dass von den in den Jahren 1892 bis Ende 1908 bei der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik als entschädigungspflichtig gemeldeten 255 Unfällen durch elektr. Strom

21, d. h. 8,2% sich ereig. an Dynamomaschinen u. Elektromotoren,
1, „ 0,4% „ „ „ Anlass- und Regulierapparaten,
31, „ 12,2% „ „ „ Transformatoren,
2, „ 0,8% „ „ „ Akkumulatoren,
55, „ 21,6% „ „ „ Schalttafeln und Instrumenten,
29, „ 11,4% „ „ „ Sicherungen, Schaltern, Anschlussdosen u. s. w.
11, „ 4,3% „ „ „ Leitungen u. zw. a) an Kabeln,
68, „ 26,6% „ „ „ „ „ b) an Freileitungen,
11, „ 4,3% „ „ „ „ „ c) an isoliert. Ltgn. in Innenräumen,

2. d. h. 0,8% sich ereig. an Leitungen u. zw. d) an Kabeln oder Freileitungen (genau nicht festzustellen),
3. „ 1,2% „ „ „ „ „ e) an Freileitgn. od. isol. Innenleitgn. (genau nicht festzustellen),
6. „ 2,3% „ „ „ Beleuchtungskörpern,
6. „ 2,4% „ „ „ Lauf- oder Drehkrahnen u. s. w.,
9. „ 3,5% „ „ „ nicht näher festzustellenden von Starkstromanlagen.

Versuchte Bemäntelung d. elektr. Unfälle

Es wäre übrigens durchaus falsch, wenn man die durch den elektr. Strom verursachten Unfälle zu bemänteln versuchen wollte. Nur die weitestgehende Offenheit in der Berichterstattung darüber kann die Wege zur Verminderung der Unfallziffern weisen. Bemerkt werden muss aber, dass die besten Vorschriften für die Ausführung von elektrischen Anlagen nicht ihr Ziel erreichen, wenn nicht im laufenden Betriebe dauernd darauf gesehen wird, dass der anfängliche Sicherheitszustand auch unverändert erhalten bleibt und dass die Betriebsvorschriften immer genau befolgt werden. In dieser Beziehung scheint es noch vielfach auch an dem genügend sachverständigen Personal und an der ausreichenden Überwachung, besonders bei Reparaturarbeiten, zu fehlen.

Über das Wesen des elektr. Stromes.

Bevor ich nun zur Beantwortung der Frage übergehe, welche Form der Elektrizität denn eigentlich schädlich oder tötlich wirkt und in welcher Weise sich die Schädigungen offenbaren, möchte ich zuerst kurz einiges über das Wesen des elektrischen Stromes besprechen.

Der elektrische Zustand ist ein Zwangszustand, d. h. ein Zustand, der sich nicht halten will und der nach Abströmung strebt. Sowie sich Gelegenheit gibt, strömt die Elektrizität auf einen anderen Körper über, mit welchem leitende Verbindung hergestellt wird, vorausgesetzt, dass der zweite Körper in einem anderen elektrischen Zustande sich befindet als der erste Körper. Die Grösse dieses Abströmungsbestrebens bezeichnet man mit dem Worte Spannung. Die Erde selbst besitzt aber auch Elektrizität und demzufolge auch eine elektr. Spannung, welche auch auf allen Körpern herrscht, die mit ihr in Verbindung stehen oder standen, sofern nicht elektr. Kräfte dieses Gleichgewicht gestört haben. Jeder Körper, der eine andere elektr.

Spannung aufweist als die Erde, wird, mit ihr in Verbindung gebracht, so lange Elektrizität mit ihr austauschen, bis die beiden Spannungswerte gleich sind. Wegen der Grösse der Erde aber kann ihre Spannung durch die Elektrizitätsmenge die ihr etwa ein anderer Körper bringt oder nimmt, nur unendlich wenig beeinflusst werden, so dass sie für unsere irdischen Verhältnisse einen elektrischen Ruhepunkt darstellt. Man hat sich daher daran gewöhnt, den elektr. Zustand der Erde mit der Spannung Null zu bezeichnen und misst alle anderen Spannungen als positive oder negative, je nachdem sie höhere oder tiefere Werte als die Erdspannung aufweisen. Zwischen zwei Punkten kann nur dann eine Elektrizitätsbewegung stattfinden, wenn zwischen ihnen verschiedene Spannungen herrscht, bezw. wenn zwischen ihnen eine Spannungsdifferenz besteht. Dieselbe wird ausgedrückt in einer Masseinheit, die man Volt genannt hat [ungefähr = der in 1 Daniell'schen Element, genau = 1,08– 1,12 Volt].

Gewöhnlich gestattet man sich aber der Abkürzung halber eine kleine Ungenauigkeit und sagt, zwischen zwei Punkten bestehe etwa die Spannung 110 Volt statt eine „Spannungsdifferenz" von 110 Volt. Zur Erzeugung solcher Spannungsunterschiede, oder kurz gesprochen, Spannungen, dienen Elemente, Batterien und Maschinen, in welchen, geweckt durch chemische oder elektromagnetische Ursachen, gewissermassen eine elektr. Scheidewand, man nennt sie elektromotorische Kraft, tätig ist. Die an den Enden der Batterie oder der Maschine, an den sog. Polen, geschaffene Spannung teilt sich allen damit verbundenen Körpern mit, sofern sie überhaupt Elektrizität aufnehmen und leiten können. Führen wir Drahtleitungen von diesen Polen in unsere Häuser, so können wir in irgend einem elektr. Apparate, den wir zwischen beide Leitungen schalten, z. B. in einer elektr. Lampe, einen elektr. Strom erhalten. Bevor wir jedoch eine leitende Verbindung zwischen den beiden Polen oder den damit verbundenen Drähten hergestellt haben, wird kein elektr. Strom entstehen, sondern es wird einfach Elektrizität auf beiden Seiten sitzen, mit einer Spannungsdifferenz, welche durch die elektromotorische Kraft der Maschine gegeben ist, lauernd darauf, sich gegenseitig auszugleichen. Also Spannung ist da, aber noch kein Strom. Das Gleichgewicht ist dadurch gegeben, dass das Vereinigungsbestreben der Elektrizitäten an beiden Enden gleich

ist der elektromotorischen Kraft der Maschine. Wichtig ist auch, festzuhalten, dass alle unsere Stromquellen nie Elektrizität von nur einer Art erzeugen können, sondern nur immer gleichviel positive wie negative, oder, wenn man nur von einer Elektrizität sprechen will, immer gleichviel Elektrizität der höheren Spannung an dem positiven Ende, wie solche negative Spannung am negativen Ende.

Bei offener Stromquelle herrscht der oben beschriebene Gleichgewichtszustand der Ladung; in dem ganzen System ist alles in Ruhe; die Stromquelle braucht keine Elektrizität weiter zu liefern. Erst wenn durch eine Verbindung der beiden Seiten ein Ausgleich der Elektrizität durch den elektr. Strom auftritt, wird die Elektrizitätsquelle sofort Elektrizität wegschaffen, weil eben die entladenen Enden nicht mehr die elektromotorische Kraft der Stromquelle kompensieren. Dies vollzieht sich aber nicht ruckweise, sondern ganz allmählich in dem Masse, als Elektrizität von einer Seite zur andern nachfliesst.

Bei einer gut isoliert aufgestellten Maschine, an die noch nichts angeschlossen ist und deren Spannung z. B. 100 Volt beträgt, kann der positive Pol etwa eine Spannung von + 50, der negative eine solche von — 50 Volt gegenüber der Erde aufweisen. Verbinden wir z. B. den negativen Pol mit der Erde, so wird er entladen und seine Spannung wird den Wert Null annehmen. Das Gleichgewichtssystem ist dann gestört und die Maschine wird sofort Elektrizität nachliefern, bis die Spannung des posit. Pols auf + 100 gestiegen ist, so dass die Spannungsdifferenz, entsprechend der elektromotorischen Kraft der Maschine, wieder 100 Volt beträgt. Es hat sich nichts geändert, als dass das Spannungsniveau der Maschine selbst gehoben wurde. Die dabei in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge war eine äusserst kleine, kaum mit den feinsten Messinstrumenten nachweisbar. Man hüte sich zu glauben, dass jetzt etwa dauernd Elektrizität in die Erde fliessen werde, also ein elektr. Strom zur Erde entstehe. Jeder Elektrizitätsquelle, die zu dem einen Pole fliesst, entspricht eine gleich grosse, die zum andern Pole geht. Da aber unserer Voraussetzung nach die Elektrizität nicht vom positiven Pole abfliessen kann, so müsste sie sich dort stauen und die Spannung heben. Aber 100 Volt kann diese nicht übersteigen, da der andere Pol die Spannung Null hat und die elektromotorische Kraft der Maschine nur eine Spannungsdifferenz

von 100 Volt das Gleichgewicht halten kann. Ein dauerndes Fliessen der Elektrizität, d. h. ein elektrischer Strom, kann also nur dann auftreten, wenn irgendwelche Wege sich bieten, dass Elektrizität der einen Seite sich mit solcher der anderen Seite ausgleicht, dann muss die Elektrizitätsquelle Strom nachliefern.

Ein elektrischer Strom wird also vorwiegend dadurch zustande kommen, dass er eine unmittelbare Brücke bildet zwischen den beiden Polen einer Stromquelle oder zwischen zwei zu diesen führenden Drähten.

Die Grösse dieses Stromes hängt aber nicht bloss von der wirkenden Spannung ab, sondern auch von der Art und Gestalt dieser Brücke, auf welcher die Elektrizität bei ihrer Bewegung eine Art Reibung findet. Man nennt diese Reibung den Widerstand des Leiters und misst diesen in Ohm [1 Ohm = dem Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und 1 mm Querschnitt].

Der menschliche Körper als elektrischer Leiter.

Für den Elektrotechniker ist nun der menschliche Körper, ebenso wie jedes beliebige Stück Kupferdraht, ein elektrischer Leiter. Wird also irgend eine Person in einen elektrischen Stromkreis eingeschaltet, so wird sein Körper zwischen den beiden Stellen, mit denen er die Strompole berührt, vom Strom durchflossen werden. Dabei gilt auch hier das allgemein giltige Ohm'sche Gesetz, dass die Stromstärke (gemessen in Ampère) gleich ist der elektr. Spannung (gemessen in Volt), dividiert durch den Widerstand des stromdurchflossenen Leiters (gemessen in Ohm) $\left[\text{d. h. } J = \frac{E}{w}\right]$.

Ebenso ist die elektrische Arbeit (in Watt gemessen) gleich dem Produkt aus der Stromstärke und der Spannung. Eine genaue Angabe darüber, wann ein elektrischer Strom als gefährlich zu betrachten ist und wann nicht, ist schwer zu machen; es hängt dies, wie gesagt, von der Spannung des elektr. Stromes und von dem Widerstand ab, den der menschliche Körper dem Durchfliessen des elektr. Stromes entgegensetzt. Damit hängt auch, gemäss den oben erwähnten Gesetzen, die Stromstärke und die elektr. Arbeit des elektrischen Stromes zusammen.

Betrachten wir eine der üblichen Lichtleitungen von 220 Volt Spannung, so dürfen wir eine solche Lampe, die vielleicht

auf unserm Schreibtisch steht, durchaus nicht etwa als ein totbringendes Element betrachten. Es kann mich auch eine Hutnadel töten, nur muss sie in meinen Leib gestossen werden und die Hand, die den Stoss führt, muss stark genug sein, die Nadel in mein Herz zu treiben.

Nun ist aber der Widerstand, den die trockene Haut des Menschen dem Durchfliessen des elektr. Stromes entgegensetzt, ein verhältnismässig sehr hoher, zwischen den Fingerspitzen beider Hände durchschnittlich etwa 110000 Ohm. Wenn also jemand eine der üblichen Lichtleitungen von 220 Volt Spannung zweipolig berührt und sich also, wie man sagt, in den Stromkreis einschaltet, so fliesst durch die betreffende Person ein Strom von $\frac{220}{110000}$ oder $\frac{1}{500}$ Ampère. Die elektrische Energie, die in dem Körper dieses Menschen schädliche Arbeit verrichtet, ist dann $= 220 \cdot \frac{1}{500}$ oder rund gleich einem halben Watt. Einen solchen Schlag kann erfahrungsgemäss der Durchschnittsmensch öfter denn einmal aushalten, ohne dabei irgendwelchen Schaden zu erleiden. Das Bild ändert sich aber gewaltig, wenn jener Mensch etwa einen halben Tag lang mit den Händen in Seifenlauge oder in verdünnter Schwefelsäure oder dergleichen gewirtschaftet hat. Dann wird die äussere Haut, in der der eigentliche elektrische Schutzwiderstand des Menschen liegt, mit diesen gutleitenden Flüssigkeiten derartig durchtränkt, dass sie nunmehr ebenfalls gut leitet. Der Widerstand eines solchen Menschen kann in einem solchen Falle alsdann mit grosser Leichtigkeit auf den 100ten Teil des seitherigen Widerstandes, d. h. auf 1100 Ohm heruntergehen. Dann wird aber bei der Berührung der 220 Volt-Leitung ein Strom von $\frac{220}{1100} = \frac{1}{5}$ Ampère durch den Körper hindurchgehen und der Körper selbst muss dann eine elektrische Arbeit von $200 \cdot \frac{1}{5}$ oder rund 50 Watt aufnehmen, ein elektrischer Schlag, der vollständig ausreicht, um die allerschwersten Störungen hervorzurufen. Sind ja doch aus der Praxis Fälle bekannt, dass Arbeiter in laugehaltigen Räumen sogar durch Ströme von 110 Volt Spannung getötet worden sind.

Schon die obige einfache elektrotechnische Betrachtung zeigt, dass die Gefährlichkeit der Elektrizität nicht bloss von einem einzigen Faktor, etwa der Stromspannung, abhängig ist. Es ist durchaus irrig, etwa behaupten zu wollen, dass erst etwa von 100 Volt Spannung an die elektr. Ströme gefährlich werden können. Es sind Fälle bekannt, dass auch geringere Spannungen als 100 Volt Schaden anzurichten vermögen. Prof. Weber in Zürich hat an seiner eigenen Person Versuche angestellt und dabei wahrgenommen, dass bei feuchten Händen und einer Spannung von nur 30 Volt die Finger, Hand, Handgelenk und Arm wie gelähmt waren, so dass ein Bewegen der Finger, Drehen der Hand, Strecken oder Beugen des Armes sich nicht mehr ausführen liess und dabei solche Schmerzen eintraten, dass dieser Zustand nur 5 bis 10 Sekunden auszuhalten war. Bei 50 Volt Spannung waren bei feuchten Händen augenblicklich alle Finger, die Hände und die Arme vorübergehend gelähmt und konnten trotz Aufbietung aller Willenskraft die Drähte nicht mehr losgelassen werden.

Die Unfälle, die durch direkte Berührung beider Pole verursacht werden, d. h. z. B. dadurch, dass jemand beide Leitungen eines Stromkreises, die Hinleitung und die Rückleitung, in die Hände nimmt und sich so direkt in den Stromkreis einschaltet, kommen äusserst selten vor; es müsste schon ein ganz besonderer Leichtsinn oder Absicht oder ein recht unglücklicher Zufall dabei mitspielen.

Folgen einer einpoligen Berührung.

Viel wichtiger ist daher die Frage nach den Folgen einer bloss einpoligen Berührung einer Stromquelle. Dabei spielt die Erde oft eine ganz heimtückische Vermittlerrolle. Verschiedene Fälle sind hiebei zu betrachten. Nehmen wir zunächst einmal an, ich berühre, nicht isoliert stehend, einen Pol einer Maschine. Es wird sich hiebei nichts anderes ereignen, als dass ich hiebei auf die Spannung dieses Pols geladen werde. Dies vollzieht sich in Bruchteilen einer tausendstel Sekunde mit einem ganz minimalen Elektrizitätsquantum. Ich spüre davon gar nichts. Es ist dies kein dynamischer, sondern ein statischer Zustand. Man kann ohne Bedenken recht beträchtliche Spannungen berühren, wenn man sicher gut isoliert ist. Sie werden hier in Ulm wohl alle schon beobachtet haben, mit welcher Sorglosigkeit die Arbeiter auf

dem Gerüstwagen an der Oberleitung der elektrischen Strassenbahn ihre Montage vornehmen. Sie werden einfach geladen und arbeiten ruhig weiter. Wir alle sind ja in einem solch geladenen Zustand, da, wie Sie wissen, die Erde elektrisch ist und alles auf ihr an diesem elektr. Zustand teilnimmt. Damit beantwortet sich auch die häufige Frage, was geschieht, wenn sich ein Vogel auf den Draht einer Hochspannungsleitung setzt. Als die Elektrotechnik noch recht jung war, hatte das Publikum die Vorstellung, dass der Telegraphenbeamte am Apparat verpflichtet sei, vor seiner Arbeit ein Paar kurze elektrische Signale hinauszuschicken, damit die Vögel von den Drähten wegfliegen. Aber diese erfahren gar nichts davon, dass durch die Drähte unter ihnen oft ganz gewaltige Leistungen mit hohen Spannungen fliessen und dass sie selbst elektrisch geladen werden.

Bei einer gut isolierten Aufstellung und nur einpoliger Berührung der Stromquelle ist es auch ganz gleichgiltig, ob der andere Pol selbst auch von der Erde isoliert oder, wie bei der elektr. Strassenbahn, mit ihr verbunden ist. Bei Wechselstrom ist die Sache insofern etwas anders, als durch den Wechsel des Spannungswertes und Zeichens des berührten Poles auch die elektrische Ladung des Berührenden fortwährend wechseln muss; aber hiefür kommen — wohlgemerkt immer unter der Voraussetzung einer sorgfältig isolierten Aufstellung — so geringe Elektrizitätsmengen in Betracht, dass man gefahrlos Ströme von 100 000 Volt Spannung und mehr einpolig anfassen kann.

Einpolige Berührung bei Erdschluss.

Bedenklich wird erst die einpolige Berührung, wenn man selbst auf der Erde steht oder Metalle berührt, die mit der Erde in Verbindung stehen und wenn gleichzeitig auch der zweite Pol der Stromquelle mit der Erde verbunden ist, d. h. wenn man, wie man sagt „Erdschluss hat" oder „geerdet ist". Jetzt stellt sich kein statischer Zustand, d. h. kein Ruhezustand ein. Jetzt macht sich das grosse Bestreben des elektr. Stromes geltend, sich mit der Erde zu verbinden, d. h. einen Erdschluss herzustellen; es findet eine elektrische Strömung statt auf dem Wege Pol—Körper—Erde—Erdschluss—Pol. Diese Verhältnisse sind es auch, die den ausserhalb der elektr. Zentrale und Fabriken vorkommenden Unfällen vielfach zugrunde liegen. Die Voraussetzungen für eine Stromentwicklung durch den Körper bei nur einpoliger Berührung sind also: Erdschluss der Stromquelle, Berührung einer der Leitungen derselben bei

gleichzeitiger Erdverbindung des Körpers. Ist hiebei der auftretende Widerstand ein kleiner, so kann sich auch bei niederen Spannungen (110 oder 220 Volt) eine gefährliche Stromstärke entwickeln. Von den obigen Voraussetzungen ist in elektrischen Beleuchtungsnetzen immer die erste erfüllt, nämlich die Erdung der Stromquelle. Selbst bei Verwendung des besten Materials und bei der sorgfältigsten Isolation finden sich bei den vielen Abzweigungen und Anschlüssen eines ausgedehnten Leitungsnetzes eine ganze Menge kleiner Schleichwege, auf welchen die Elektrizität aus der Maschine der Zentrale zur Erde gelangen kann. Es gibt eben keine absoluten Isolatoren für die Elektrizität. Was die Erdung des Körpers anbelangt, so ist diese für kleine Spannungen nicht so ängstlich aufzufassen. Trockene, gute Schuhe, trockenes Holz bieten genügend isolierten Stand. Wer jedoch mit durchfeuchteten, zerrissenen Schuhen auf Metall oder feuchter Erde steht, wer Gas- oder Wasserleitungen anfasst, oder gar in, mit der Erde verbundenem, Wasser steht, muss ängstlich jede absichtliche oder zufällige Berührung einer elektrischen Leitung vermeiden. So ereignete sich im vorigen Jahr in Wien ein Unglücksfall, der ein Dienstmädchen betraf, das badend eine elektrische Lampe berührte und getötet wurde. Das in der Badewanne sitzende Mädchen war durch das Rohr der Wasserleitung mit der Erde verbunden und zwar durch das Wasser der Wanne von grosser Oberfläche. Nun ergriff sie den metallischen Fuss einer elektrischen Stehlampe. Zwar sollen die äusseren Metallteile eines elektr. Beleuchtungskörpers mit der Stromleitung nicht in Verbindung stehen. Aber durch mangelhafte Befestigung der Drähte im Innern der Lampe oder durch eine Verletzung der Isolation der Leitungen, was bei einem tragbaren Gebrauchsapparate namentlich leicht eintreten kann, hatte einer der Drähte Schluss mit dem Metallkörper der Lampe bekommen und die einpolige Berührung mit allen oben erörterten Voraussetzungen und unglücklich günstigster Form für die Bildung eines gefährlichen Stromes waren gegeben und führten zum Tode.

Wirkung der Wechselströme mit hoher Spannung.

Einer in Laienkreisen vielfach verbreiteten, irrigen, Auffassung, die ich schon vorhin kurz erwähnt habe, möchte ich noch einmal ganz energisch entgegentreten. Es ist nämlich nachgewiesen, dass bei Wechselströmen von ausserordentlich hoher Wechselzahl weit höhere Stromstärken schadlos vertragen

werden können, als bei dem Gleichstrom, wo der Strom immer in der gleichen Richtung fliesst. So kann man sog. Teslaströme, d. h. Ströme, die mehrere 100 000- bis 1 millionmal in der Sekunde wechseln, bis zu einer Stärke von 0,5 Ampère und darüber vertragen. Da man diese Ströme gewöhnlich nur besonders hochgespannt (bis zu 100 000 Volt und darüber) anwendet, z. B. in der Funkentelegraphie, so hat sich der Irrtum gebildet, als ob besonders hohe Spannungen, über 100 000 Volt und darüber, gefahrlos berührt werden können. Dies ist aber eine gefährliche und falsche Ansicht, denn nur die hohe Schwingungszahl ist es, welche hier die physiologische Einwirkung herabsetzt.

Der elektrische Kurzschluss.

Die stärksten und gefährlichsten Ströme erhält man durch den sogenannten Kurzschluss. Da bekanntlich der elektr. Widerstand um so grösser ist, je länger der betreffende Draht ist, so wird demnach der Widerstand um so mehr abnehmen, je kürzer der Weg des elektr. Stromes ist. Gelingt es also dem elektr. Strom einen kürzeren Weg zu finden, so ist der Widerstand ein erheblich kleinerer und die Stromstärke demgemäss eine erheblich grössere und damit auch die verderbliche Wirkung des Stromes. $\left[w = \frac{l \cdot s}{q} \right]$. So können sich durch Kurzschlüsse oft Ströme von mehreren Tausend Ampère bilden, die dann von ganz gewaltigen Wärmewirkungen [Joule'sche Wärme $= J_w^2 = E. J.$] begleitet sind. Durch die gewaltige Hitze entwickeln sich Metalldämpfe und selbst wenn der wirklich metallische Kurzschluss schon getrennt ist, bilden diese Dämpfe bei genügender Spannung und nicht zu grosser Länge der Trennungsstelle eine Strombrücke zwischen den Leitungen und setzen so den Kurzschluss fort. Diese glühenden Metalldämpfe sind es auch, welche die schweren Verbrennungen im Gefolge haben.

Aus einer ganzen Reihe von derartigen Unglücksfällen, möchte ich zunächst den folgenden erwähnen, der sich am 21. März 1898 in Pasing bei München ereignete:

> Ein Anstreicher war dort an der Fassade eines Hauses beschäftigt und fasste — wohl aus Neugier — einen am Hause angebrachten Leitungsdraht von einer Lichtanlage von 115 Volt Spannung an. Da er hiebei nichts verspürte, fasste er mit der anderen Hand auch den zweiten,

den Rückleitungsdraht an. Jetzt war aber der Mensch in die Leitung eingeschaltet und sein Körper bildete ein Kurzschlussobjekt. Die Finger des Arbeiters krampften sich sofort um die Drähte fest und alle Versuche, die Hände zu lösen, waren vergeblich. Auf seine verzweifelten Hilferufe sammelten sich viele Menschen an, die ihm aber alle nicht helfen konnten und nur einer rief telephonisch die elektr. Station an, dass der Strom abgestellt werde. Inzwischen hatten aber doch einige beherzte Männer den erfolgreichen Versuch gemacht, eine der beiden Hände vom Draht wegzureissen, wodurch der Kurzschluss wieder aufgehoben und der Verunglückte befreit wurde.

Der „Schwäbische Merkur" Nr. 408 vom 2. September 1908 berichtet von folgendem in Wiesloch in Baden am 1. September 1908 vorgekommenen Unglücksfall:

„Ein schrecklicher Unglücksfall hat den Landwirt Jakob Schmitt des Lebens beraubt. Derselbe hatte sich mit seiner Frau ins Feld begeben, um Hopfen zu holen. Als er mit geladenem Wagen aus dem Acker, über welchen die elektrische Leitung geht, fahren wollte, stürzte plötzlich eine der Kühe, die vor den Wagen gespannt waren, auf die Knie. Die Kuh war auf einen herunterhängenden elektrischen Draht getreten. Als Schmitt nachsehen wollte, was vorgegangen, kam er unversehens an den Draht und wurde getötet. Seine Frau, die helfen wollte, wurde betäubt und erhielt bedeutende Brandwunden an der Hand. Ein in der Nähe arbeitender Mann entfernte mit dem Stiel einer Hacke den Draht und verhinderte dadurch weiteres Unheil. Der elektrische Strom hatte eine Stärke von 10 000 Volt. Eine amtliche Untersuchung über den Vorfall wurde sofort angestellt."

Die „Württemb. Zeitung" vom 18. Sept. 1908 meldete folgenden Unglücksfall:

„In der Münchener Ausstellung geriet am Mittwoch, den 16. September 1908 nachmittags 3 3/4 Uhr, in der elektr. Station der städtische Obermonteur Bayer durch Aufrecken am Schalterpodium mit dem Kopf an die Hochstromleitung. Unter starken Feuererscheinungen trat Kurzschluss ein, der auch den Strassenbahnbetrieb

unterbrach. Gesicht und Kopf des 30jährigen Mannes wurden vollständig verbrannt und beide Augen zerstört. Der aus der linken Brustseite austretende Strom hatte dort eine Wunde von der Grösse einer Kinderfaust gerissen. Bayer starb nach kurzer Zeit."

Es muss deshalb ernstlich davor gewarnt werden, eine elektr. Leitung, einen herabhängenden Draht, ja sogar einen der Tragmasten elektr. Hochspannungsleitungen, besonders wenn sie nach längerem Regen nass geworden sind, oder die häufig bei stark belasteten Masten vorkommende Stützverspannung durch Drahtseile zu berühren. Dass letzteres, trotz öfterer Widersprüche und Einwendungen, nicht ungefährlich ist, dafür möchte ich folgende zwei Beispiele anführen:

1) Am 4. März 1896 war eine hölzerne Kandelaberstange in München in Brand geraten und zwar dadurch, dass einer der Nägel, womit das Schutzblech für die Gummiaderkabel an die Stange festgenagelt war, den Gummi des Kabels verletzt hatte. Durch diesen Isolationsfehler war Kurzschluss entstanden und hatte die Kabelstange entzündet. Es würde aber wohl auch ein Mensch getötet worden sein, der diesen Mast, namentlich bei dem Sicherungsbleche, berührt hätte.

2) Der zweite Fall ereignete sich in Oberfranken. Hier waren hohe Masten für etwa 25 Drahtleitungen aufgerichtet und mittelst Drahtseilen verspannt. Eine der porzellanenen Isolierglocken hatte wahrscheinlich der Hagel zerschlagen und war der Leitungsdraht herabgesunken und mit dem Drahtseile des Mastes in Berührung gekommen. Eine Folge davon war, dass in demselben Augenblicke, als die Leitung (eine Beleuchtungsanlage) unter Strom gesetzt wurde, dieser Strom am Drahtseil herabging und unten durch Erdschluss das dürre Gestrüpp und Gras bei dem Tragmaste in Brand setzte. Der Schaden wurde alsbald bemerkt, die Leitung ausser Strom gesetzt und die Isolierglocke montiert.

Daraus ist ersichtlich, dass das Berühren der Tragmasten und der Verspannungsdrahtseile vermieden werden muss, denn niemand kann ahnen, ob nicht irgend ein Defekt vorhanden ist,

welcher dem elektr. Strom ermöglicht, auf solchem Wege zur Erde zu kommen.

Der elektr. Strom ist eben, wie schon mehrfach erwähnt, bestrebt, sich, wo er nur kann, mit der Erde zu verbinden, dafür geben herabhängende Drähte ein ganz besonders beredtes Zeugnis. Der Ursachen, die einen Drahtbruch herbeiführen können, gibt es ja sehr viele. Heftiger Sturm, starker nasser Schneefall, Anfaulen und Umstürzen von Tragmasten, ungemein grosse Kälte, welche die Leitungsdrähte zusammenzieht, einseitige Erhitzung der Drähte durch Feuersbrunst u. s. w. können den Bruch eines Leitungsdrahtes herbeiführen. Selbst abgerissene Drähte sind in doppelter Hinsicht gefährlich. Es kann nämlich vorkommen, dass der Draht einer Schwachspannungsleitung (Telegraphen- und Telephonleitungen) abreisst und dann auf einen Hochspannungsleitungsdraht zu liegen kommt, oder es kann auch ein Hochspannungsdraht selbst abgerissen sein und herabhängen. Im ersteren Falle geht die Hochspannung sofort auf den aufliegenden Draht und bringt die bereits erwähnten Kurzschlusserscheinungen mit sich. Im anderen Falle aber sind die Erscheinungen der Hochspannung direkt vorhanden.

Die Schienen der elektrischen Strassenbahnen.

Bekanntlich besorgen bei den elektrischen Eisenbahnen die Schienen das Geschäft der Rückleitung des elektr. Stromes. Das Betreten dieser Schienen ist demnach mit gar keiner Gefahr verbunden, so lange man nicht auf irgend eine Weise mit der oberirdischen Leitung, dem Leitungsdrahte, welcher den Strom in den Wagen führt, auch zugleich in Berührung kommt, was ja im gewöhnlichen Leben nicht wohl möglich ist. Kommt es aber doch vor, dass jemand durch Zufall beim Betreten der Strassenbahnschienen zugleich auch mit der oberirdischen Leitung in Verbindung kommt, so ist er in die Leitung eingeschaltet, was die schlimmsten Folgen haben kann.

Im Februar 1898 riss in Basel zufolge starken Schneefalls ein Telephondraht und fiel auf einen jungen Mann, welcher eben auf eine der Schienen der elektr. Strassenbahn trat. Da der Draht die Zuführung des elektr. Starkstroms der Strassenbahn berührte, so wurde der junge Mann, in dem Moment als er auf den Schienen stand und der Telephondraht auf ihn fiel, in den Strom

eingeschaltet. Er war sofort tot und musste, mit Brandwunden bedeckt, vom Platze getragen werden.

Ein ähnlicher bedauerlicher Unfall ereignete sich am 12. Nov. 1895 in Chemnitz. Arbeiter vom Telephonamt waren mit der Befestigung von Telephondrähten beschäftigt. Ein solcher Draht fiel von oben herab und ein Fuhrmann kam mit seinem, mit zwei Pferden bespannten, Wagen an die fragliche Stelle gefahren. Obwohl der als Wache dorthin gestellte Arbeiter dem Fuhrmann zurief, er solle halten, fuhr derselbe weiter und die Pferde schleppten den Draht fort, so dass gerade in demselben Augenblick als die Pferde auf die Strassenbahnschienen traten, der Draht mit der Starkstromleitung in Berührung kam. Beide Pferde waren sofort tot und auch der Telephonarbeiter, welcher den Draht entfernen wollte, wurde nicht unerheblich verletzt.

Die unterirdische Stromzuführung mit Hilfe von Kontaktklötzen.

Um die durch die oberirdischen Stromzuführungen verursachten Unglücksfälle zu vermeiden, hat man vielfach die Stromzuführung unterirdisch gemacht. Die gewöhnlichen unterirdischen Stromzuführungen, welche aus anderen Gründen mehr und mehr in den Hintergrund treten, haben überhaupt noch wenig Anlass zu Bedenken hinsichtlich einer Gefahr für Menschen und Tiere gegeben. Eine andere Einrichtung unterirdischer Stromzuführung, die in München versucht, aber wieder fallen gelassen wurde, die aber trotzdem da und dort wieder in Betracht kommt, hat dagegen Anlass zu solchen Bedenken gegeben. Es ist dies die Stromzuführung durch Kontaktklötze, d. h. versenkte Blöcke, zu welchen die Elektrizität unterirdisch zugeleitet wird und von welchen dann die Strassenbahnwagen die elektr. Triebkraft entnehmen. Es geschieht dies dadurch, dass dem einen Schienenstrang entlang, auf Entfernungen von 3 bis 5 m, gut isolierte Klötze in den Boden eingesetzt werden, die durch eigene Leitungen mit Zentralkästen in Verbindung stehen, welche wiederum durch eine gesonderte Leitung mit dem Stromerzeuger verbunden sind. In jedem Zentralkasten sind ungefähr 50 Leitungen eingeschaltet. Am Wagen selbst ist eine Schleife angebracht, welche über den Kontaktklotz streift und dadurch den zum Betrieb nötigen Strom erhält. Die Rückleitung erfolgt durch den anderen Schienenstrang. Diese Erfindung wurde von dem Elektrizitätswerk

Schuckert & Co. in Nürnberg hergestellt und hätte allerdings den nicht geringen Vorteil gehabt, dass durch ihre Einführung die unschönen oberirdischen Drahtverspannungen in Wegfall gekommen wären. Dabei war behauptet worden, dass Personen oder Tiere, die mit den Kontaktklötzen in Berührung kämen, keinen Schaden nehmen könnten, da ja die Klötze nur dann Strom aus der Leitung zu ziehen vermöchten, wenn ein elektr. Eisenbahnwagen in unmittelbare Berührung mit ihnen komme. Der Jubel hierüber dauerte jedoch nicht lange, denn die Einrichtung in München war gerade fertig und sollte dem Betriebe übergeben werden, als man im März 1897 Versuche damit anstellte und die Kontaktklötze unter Strom setzte. Am 16. März 1897, vormittags, fuhr ein Kaufmannsfuhrwerk quer über die Schienen, wobei das Handpferd auf einen Kontaktklotz trat und sofort vom Strom getötet wurde, das andere Pferd ebenso, der Kutscher wurde betäubt. Das Handpferd war mit dem einen Fuss auf den Kontaktklotz getreten, während der Wagen grade über den Rückleitungsschienen stand, wodurch dann das ganze Fuhrwerk in den Strom eingeschaltet wurde und das erwähnte Unglück zur Folge hatte. Infolge dieses Unfalls wurde diese höchst gefährliche Einrichtung schleunigst wieder entfernt und die oberirdische Leitung zur Einführung gebracht.

Absperrung der Räume für Hochspannungsleitungen.

Wie schon zu Anfang, bei Gelegenheit der Besprechung der elektrischen Unfälle in den Bergwerken, erwähnt wurde, sollten Räume, in denen Hochspannungsleitungen vorhanden sind, bezw. in welchen hochgespannte Ströme in andere, niedriger gespannte Ströme umgewandelt werden, nur ganz besonders instruierten Leuten zugänglich und für Unberufene gänzlich unzugänglich sein. Unberufene sind aber hier alle, welche nicht ganz genau mit dem Mechanismus dieser Transformatoren und Umschalter so vertraut sind, dass sie, wie man zu sagen pflegt, auch mit verbundenen Augen die richtige Stelle finden und auch für solche Leute ist immer noch die Gefahr gross genug.

„Am 12. Februar 1897 machte sich in Rosenheim der Maurer Seidl, trotz Warnung, in einem Gasthause am Transformator zu schaffen und kam hiebei an die auf 4000 Volt gespannte Leitung; er war augenblicklich tot. An der Hand, der Eingangsstelle des elektr. Stromes,

fand sich eine Brandwunde von der Grösse eines Zehnpfennigstückes."

„Ein weiteres drastisches Beispiel ist aus Strassburg anzuführen. Hier hatten am 15. März 1900 einige Knaben „Versteckens" gespielt und einer derselben hatte sich in das Innere eines Transformatorhäuschens verkrochen, dessen Türe aus unerklärlicher Ursache offen stand. Kaum hatte er die Füsse hineingesteckt, als er mit gellendem Wehgeschrei betäubt zurückfiel. Als man den Kleinen vollends herauszog, zeigte sich, dass ihm durch den elektr. Strom beide Füsse buchstäblich weggebrannt waren."

Es ist also das Betreten der Transformator- oder Streckenumschaltehäuschen mit höchster Gefahr verbunden und erfordert die allergenaueste Kenntnis der ganzen elektr. Einrichtungen. Ein einziger falscher Griff, eine Unsicherheit in der Handhabung der Vorrichtung kann nicht bloss den Arbeitenden, sondern auch die Elektrizitätszentrale und weitere Bevölkerungskreise in grosse Gefahren bringen. Es ist deshalb dringend davon abzuraten, die Schlüssel zu einem Transformatorenhäuschen oder Streckenumschalter Unberufenen zu überlassen, da dies unter Umständen von den schwersten Folgen begleitet sein kann.

Die elektrisch. Hinrichtungen in Amerika.

In Amerika, dem Lande der elektr. Hinrichtungen, hat man zuerst geglaubt, das Problem der elektr. Hinrichtung einfach dadurch lösen zu können, dass man elektr. Ströme von so und so viel Watt (Volt-Ampère) benützte, d. h. man stellte sich die Frage, wie viel elektrische Pferdestärken, jede zu 736 Watt, man zu nehmen hat, um mit Sicherheit einen Menschen töten zu können. Man fand jedoch keine befriedigende Antwort, denn es ereigneten sich Fälle, wo $^1/_{10}$ elektr. Pferdestärke sicher tötete, während wiederum andere Fälle bekannt wurden, wo bei Benützung eines Stromes von 1500 Volt Spannung und mehreren Ampère Stromstärke, d. h. bei Anwendung mehrerer elektr. Pferdestärken ein Erfolg nicht erzielt werden konnte.

Interessant ist es zu hören, was der „Schwäb. Merkur" vom 21. Oktober 1908 von New-York berichtet. Dieser Bericht lautet wörtlich folgendermassen:

„New-York, 21. Okt. 1908. An sieben zum Tod Verurteilten, die im Singsinggefängnis der Hinrichtung entgegensehen, will Dr. G. F. Shrady, der Totenschauer

der Stadt New-York, Versuche machen, durch die festgestellt werden soll, ob Verbrecher, die durch den elektrischen Strom hingerichtet werden, furchtbare Qualen erleiden, bevor sie tot sind. Dr. Shrady ist fest überzeugt, dass die Hinrichtung durch Elektrizität eine unmenschliche Grausamkeit ist. Er behauptet, dass die elektrischen Schläge nicht den Tod herbeiführen, dass dieser vielmehr erst bei der Sektion durch die Ärzte eintritt. Nach seiner Meinung ist es in fast allen Fällen möglich, Personen, die dem elektr. Strom unterworfen wurden, wieder zu beleben, und er führt an, dass in einigen Fällen, in denen diese Wiederbelebung tatsächlich stattgefunden hat, die Personen grausige Schilderungen des Todeskampfes bei Anwendung der Elektrizität geben. Ein Fall ist zu seiner Kenntnis gekommen, in dem ein Verbrecher nach dem elektrischen Schlag wieder zu sich kam und dann durch Chloroform getötet wurde, indem die Ärzte ihn niederhielten, während das Betäubungsmittel angewandt wurde. In dem Fall eines gewissen William Kemmler wurde der Körper, nachdem der erste Schlag keine tötliche Wirkung getan, das zweite Mal grauenhaft verbrannt, und selbst dann noch zeigte er Lebenszeichen, als die Ärzte das Gehirn sezierten. Den bevorstehenden Hinrichtungen will Dr. Shrady nun beiwohnen, und nachdem die Delinquenten von den Gerichtsbehörden für tot erklärt sind, will er Versuche an ihnen machen, um zu zeigen, dass sie wiederbelebt werden können. Wenn ihm dies gelingt, so wird die wahrscheinliche Folge die Abschaffung der elektrischen Hinrichtung im Staate New-York sein, für die eine grosse Zahl Ärzte so lange Zeit lebhaft agitiert haben."

Wie diese Versuche des Dr. Shrady ausgefallen sind, habe ich seither nicht in Erfahrung bringen können. Das Ergebnis dürfte jedenfalls allgemein interessieren.

Im Gegensatz zur obigen Veröffentlichung des Dr. Shrady in New-York steht ein Bericht des Medizinalrats Dr. P. Näcke von Hubertusburg, den er als Auszug aus einer Schrift eines der bedeutendsten Anatomen Nordamerikas, des Prof. Dr. Spitzka in Philadelphia, betitelt „Observations regarding the infliction

of the death penalty by electricity. Proceedings American Philosophical Society. 1908" in der „Internationalen Wochenschrift für Wissenschaft, Kunst und Technik" (Allgem. Zeitung, München) Nr. 3 vom 16. Januar 1908 veröffentlicht hat. Spitzka habe in den letzten 6½ Jahren 31 elektrischen Hinrichtungen persönlich beigewohnt und habe 25 der Gerichteten seziert. Nach seiner Ansicht sei bis jetzt noch kein Misserfolg bei diesen elektrischen Hinrichtungen vorgekommen und alle gegenteiligen Behauptungen seien unwahr und tendenziös. Er hält die Hinrichtung durch Elektrizität für die sicherste, humanste, wissenschaftlichste und schnellste. Er zieht diese Hinrichtungsart derjenigen durch die Guillotine vor und bemängelt besonders, dass bei uns in Deutschland einer Hinrichtung immer so viele Zuschauer beiwohnen dürfen, während in Amerika nur Ärzte und Elektriker anwesend sein dürfen und das Ganze jeglichen rohen Anstrichs entbehre.

Es dürfte bei dieser Gelegenheit auch interessant sein, Näheres aus der Spitzka'schen Abhandlung über die Art und Weise einer solchen elektrischen Hinrichtung, auch Elektrokution genannt, zu erfahren.

Der Apparat für diese Hinrichtungen ist eine Wechsel-Dynamo von 2000 Volt und ein „Todesstuhl" (death-chair) mit Kopfstütze, Binden und Elektroden, Voltmeter u. s. w. und Einrichtungen, um den Strom zu ändern. Elektrische Signale gehen in den Dynamoraum. Vor jeder Hinrichtung wird der Apparat natürlich erst genau kontrolliert. Der Delinquent wird dann am Kopf, Rumpf und Extremitäten durch breite Bänder am Stuhl befestigt, die eine angefeuchtete Elektrode an den Kopf gehalten, die andere an den Oberschenkel. Der Kopf bleibt unrasiert. Zuerst lässt man gewöhnlich einen starken Strom von 1800 Volt 5 bis 7 Sekunden laufen, setzt ihn dann bis zu einer halben Minute auf 200 bis 250 Volt herab, setzt ihn wieder 2 bis 5 hoch, dann wieder herab, bis eine Minute verflossen ist, um ihn wieder einige Sekunden zu erhöhen und dann den Kontakt aufzuheben. In dieser ganzen Zeit sind dann 7 bis 10 Ampères durch den Körper gegangen. Bisweilen wiederholt man noch die Berührung kurz zum zweiten oder dritten Male.

Die Zeit vom Anbinden des Verbrechers bis zum Eintritt des Todes dauert nach Spitzka nur etwa 60 bis 70 Sekunden. Die Verbrecher, die Spitzka so hinrichten sah, hatten meist die

Nacht vorher tief geschlafen, traten ruhig in den Saal, setzten sich ebenso auf den Stuhl und bezeugten meist keinerlei Zeichen von Furcht. Der Arzt untersucht den Verbrecher und gibt dem Elektriker im Nebenraum das Zeichen des Kontaktes, sobald die grösste Expiration eingetreten ist, wenn die Lungen also möglichst wenig Luft enthalten. Bei der Durchströmung wird der Körper steif, um bei Unterbrechung des Stromes zu kollabieren (zusammenzufallen). Lebenszeichen fehlen meist ganz. Nur gelegentlich zeigte sich noch beschleunigter Herzschlag, offenbar nur auf die Vorhöfe beschränkte Zuckungen. Zweimal sah Spitzka noch einmal den Brustkorb sich heben. Der Tod ist, sagt Spitzka, unzweifelhaft schmerzlos und sofort eintretend. Sofort hörte das Bewusstsein, die Zirkulation und die Respiration auf. Absichtlich lasse man aber den Strom noch etwas länger andauern. Selten entstehen Blasen an den Kontaktstellen.

Erbleichen oder sogar lixides Aussehen zeige sich oft schon während des ersten Kontaktes. Die Temperatur des Körpers steige auf 120° bis 129,5° F., bezw. auf 39° bis 43° R. binnen 20 Sekunden in vielen Fällen, am meisten an der Seite der Bein-Elektroden. Nach dem Tode sei das Herz erst schlaff, dann krampfhaft zusammengezogen, besonders links. Die Lungen seien meist blutleer, das Blut total geändert, tief braun und selten geronnen. Am meisten werde das Nervensystem geschädigt. Äusserlich am und im Gehirn sehe man arterielle Anämie, venöse Hyperämie und kapillare Blutungen. Bisher sei, wie schon erwähnt, nach Spitzka noch kein Misserfolg bei den elektrischen Hinrichtungen vorgekommen, wenn genau, wie oben angegeben, verfahren worden sei.

Wem man nun nach diesen Veröffentlichungen glauben soll, dem Dr. Shrady, Totenschauer von New-York, oder dem Prof. Dr. Spitzka in Philadelphia, ist hier schwer zu entscheiden.

Tatsache ist jedenfalls, dass die Elektrizität nicht in derselben Weise auf alle Menschen einwirkt, dass gewisse elektr. Ströme für die einen tötlich sein können, während sie bei anderen nur vorübergehende schädliche Wirkungen ausüben und dass nur bei sehr starken und hoch gespannten Strömen, d. h. bei Aufwendung einer grösseren elektr. Arbeit unbedingt auf den Eintritt des Todes durch Elektrizität gerechnet werden darf, wovon noch später ausführlicher die Rede sein wird.

Wie ich nämlich schon früher angegeben habe, hängt die Gefährlichkeit der Elektrizität für den Menschen nicht bloss von einem Faktor, z. B. der Stromspannung, ab, sondern eine ganze Reihe anderer Faktoren sind dabei auch noch zu berücksichtigen.

Über den Tod durch Elektrizität.

Auf der Naturforscherversammlung in Meran hielt vor einigen Jahren Prof. Dr. Kratter in Graz einen interessanten Vortrag über den „Tod durch Elektrizität". Gestützt auf jahrelange Beobachtungen und Forschungen durch Versuche, deren Ergebnisse er schon im Jahre 1896 in einem grösseren Werke veröffentlicht hatte, kommt Kratter zu dem Schluss, dass der Tod durch Elektrizität in einer zentralen Atmungslähmung, also in einer besonderen Art innerer Erstickung bestehe. Die zugrunde liegenden Veränderungen spielen sich im Zentralnervensystem ab und bestehen aus mikroskopisch kleinen Blutungen im Gehirn und verlängerten Mark in noch nicht genügend genau bekannten molekularen und vielleicht auch chemischen Veränderungen der Ganglienzellen. Die Diagnose werde gesichert durch eigenartige örtliche Veränderungen an den Berührungsstellen, die in brandigen Erscheinungen bestehen. Diese Verbrennungen, durch Lage und Form eigenartig, sind eine eigentümliche Wirkung der Elektrizität, welche bei dem Übertritt auf den schlecht leitenden menschlichen und tierischen Körper Wärme entwickelt. In seinem Vortrage wies dann Prof. Dr. Kratter noch darauf hin, dass, wie ich schon früher hervorgehoben habe, die Gefahr des elektr. Stromes für den menschlichen Körper nicht bloss von der Stromspannung, sondern hauptsächlich vom Körperwiderstand abhänge, der 100 000 Ohm und darüber betragen aber auch auf 1000 Ohm und darunter sinken kann. Auf diesen grossen Schwankungen des Körperwiderstandes beruht es auch, wie ich schon früher erwähnt habe, dass Personen schon durch Ströme von 100 Volt Spannung getötet wurden, während andere Personen, die mit Strömen von mehreren tausend Volt Spannung in Berührung kamen, am Leben geblieben sind. Für den Ausgang eines elektr. Unfalls sollen nach Prof. Dr. Kratter auch noch persönliche Eigenschaften mitbestimmend sein; besonders gefährdet sollen Alkoholiker und Herzkranke sein. Am Schlusse seines Vortrages wies Prof. Dr. Kratter noch darauf hin, dass die Erkenntnis, dass die Unfälle durch Elektrizität einen Erstickungsvorgang bilden, das segensreiche praktische Ergeb-

nis zur Folge hatte, dass man durch Einleitung künstlicher Atmung zahlreichen Verunglückten das Leben retten konnte.

Über denselben Gegenstand „Tod durch Elektrizität" sprach in Meran auch noch Dr. Jellinek, Assistent am K. u. K. Krankenhaus Wieden in Wien und betonte dabei vor allem, dass sowohl die Erfahrungen der Unfallpraxis, wie die Ergebnisse der Tierversuche lehren, dass es keine einheitliche Form des Todes durch Elektrizität gebe. Von den technischen Strombedingungen einerseits und den persönlichen Verhältnissen andererseits hängt es ab, ob gefahrdrohende Anzeichen seitens des Bewusstseins, oder der Atmung, oder des Herzens oder dergleichen im Vordergrund stehen. Weitere interessante Ausführungen zu diesem Thema hat Dr. Jellinek auf dem im Herbst 1907 in Berlin abgehaltenen Hygiene-Kongress gebracht. Demnach wären bei den elektr. Unfällen im ganzen 8 Faktoren zu berücksichtigen, von denen 4 in äusseren Umständen und 4 in dem Betroffenen selbst zu suchen sind. Die ersten 4 genannten, äusseren, Umstände sind: 1) die Stromstärke, 2) die Stromspannung, 3) die Zeitdauer der Elektrisierung und 4) — falls es sich um einen Wechselstrom handelt — die Zahl der Stromwechsel. Als innere Umstände nennt Jellinek 1) den Schutzwiderstand des Betroffenen, 2) die Stromrichtung im Körper (es ist natürlich ein gewaltiger Unterschied, ob der Strom etwa nur zwischen zwei Fingern der gleichen Hand übergeht, oder ob er seinen Weg quer durch den Körper und die lebenswichtigen Organe nimmt), 3) den augenblicklichen körperlichen und seelischen Zustand des Getroffenen und 4) den sog. Artfaktor. Der dritte innere Faktor ist teils psychologischer, teils physiologischer Art. Es sind nämlich aus der Praxis Fälle bekannt geworden, dass schlafende Elektromonteure schwere elektrische Schläge erhielten, die sogar zu ausgedehnten Verbrennungen führten und dass sie doch mit dem Leben davon kamen. Ferner haben Laboratoriumsversuche gezeigt, dass Tiere, die man bis dicht zum Verscheiden chloroformierte, durch an sich sonst tötliche elektrische Schläge wieder erweckt wurden. Weiter ist ein Fall bekannt, dass ein Elektromonteur eine Leitung von 2000 Volt Spannung berührte und gleich darauf tot zusammenbrach, obwohl die genaue Untersuchung ergab, dass die Leitung im Augenblicke der Berührung stromlos war, und dass somit hier ein reiner psychischer Effekt vorlag. Was den vierten

inneren Umstand, den sog. Artfaktor, anbelangt, so bezieht sich derselbe auf die Widerstandsfähigkeit verschiedener Tierarten. So sind beispielsweise die Pferde sehr empfindlich gegen den elektrischen Strom, während Frösche kaum tot zu bekommen sind.

Unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte ist es also sehr schwer, irgend eine Grenze für die Gefährlichkeit oder Ungefährlichkeit eines elektr. Stromes anzugeben.

Die Wirkung des elektr. Starkstromes zeigt sich nach Dr. Jellinek zunächst in einer Reizung der Hemmungsbahnen und Zentren. Die Bewegung unseres Herzens und unsere Atmung wird ja bekanntlich durch eine Reihe motorischer Nervenbahnen bewirkt; diesen entgegengesetzt wirken die Hemmungsbahnen, die diese Bewegungen einschränken und hemmen. Der elektr. Starkstrom reizt nun diese Hemmungsbahnen und erregt sie so mächtig, dass sie die Atmung und den Herzschlag vollständig stillsetzen. Lange, bevor etwa irgend eine nachweisliche Beschädigung des Herzfleisches eingetreten ist, ist der Herzschlag erloschen. Die Lähmung von Atmung und Herzschlag sind das typische Zeichen des elektr. Todes; von dem wir jedoch den Trost haben, dass er in der überwiegenden Zahl der Fälle nur ein Scheintod ist und dass der Getroffene bei sachgemässer Behandlung sehr häufig wieder zum Leben zurückzurufen sein wird.

Die Elektrizität und der menschliche Körper.

Im Verein beratender Ingenieure für Elektrotechnik in Berlin, hielt i. J. 1907 Dr. Müllendorf einen Vortrag über „Die Elektrizität und der menschliche Körper“, mit dem er eine Art Arbeitsprogramm für die systematische und erschöpfende Erforschung der Beziehungen zwischen der Elektrizität und dem menschlichen Körper zu entwickeln und zu eingehenden Versuchen auf diesem Gebiete anzuregen beabsichtigte. [Elektrotechn. Zeitschr. Heft 5. 1908.] Er verwies zunächst auf die bisher angestellten Untersuchungen von Dr. Kath und K. Müller in Zürich und von Dr. Jellinek (s. oben). Dass über eine Frage von so ausserordentlicher praktischer Bedeutung nur ein sehr spärliches, lückenhaftes und einseitiges Material vorliegt, hat seinen Grund teils in der Schwierigkeit der Untersuchung, teils in dem Umstande, dass diese Untersuchung ein Zusammenwirken von Arzt und Elektrotechniker zur Voraussetzung hat. Die Schwierigkeit der Versuche selbst ist durch die Unmöglichkeit

gegeben, am Menschen Experimente bis zur Grenze erheblicher Schmerzempfindung oder gar der Gefahr für Leben und Gesundheit anzustellen. Das statistische Material über vorgekommene Unfälle bietet keinen Anhalt für die Beurteilung der tatsächlich aufgetretenen Stromstärken, und wenn auch dabei fast stets die Spannungen, meist auch die Ein- und Austrittstellen des Stromes bekannt waren, so sind doch wohl niemals Messungen des Körperwiderstandes des Verunglückten vorgenommen worden, wahrscheinlich liegen nicht einmal Versuche darüber vor, inwieweit durch den Tod dieser Widerstand verändert wird.

Auch der Tierversuch lässt einen Analogieschluss über die Gefahrengrenze nicht ohne weiteres zu, da die denkbar grössten Unterschiede in der Empfindlichkeit gegen elektrische Ströme bei den verschiedenen Arten von Geschöpfen bestehen. Es ist bekannt, wie empfindlich z. B. ein Blutegel ist, so empfindlich, dass er eine Kupferplatte nicht zu verlassen imstande ist, wenn sie auf einer grösseren Zinkplatte ruht und nicht minder bekannt ist die überausgrosse Empfindlichkeit von Pferden, welche bereits durch Spannungsdifferenzen beunruhigt werden, die sich nur durch Messinstrumente nachweisen lassen. Ein Versuch, einen kräftigen Ochsen durch Elektrizität von seinem Rheumatismus zu befreien, endete mit dem Tode des Ochsen bei einem für den Menschen völlig unschädlichen Strome. Dennoch ist der Tierversuch nicht zu verwerfen. Denn es ist noch völlig unaufgeklärt, ob der geringere elektrische Widerstand oder die grössere physiologische Wirkung eines im übrigen gleichen Stromes den Grund für die gesteigerte Empfindlichkeit bildet. Ist nur das erstere der Fall, so werden Analogieschlüsse unter Berücksichtigung des Widerstandes, also unter Reduktion auf gleiche Stromstärke sehr wohl statthaft sein.

Dr. Müllendorf unterscheidet die Möglichkeit der Einwirkung der Elektrizität auf den menschlichen Körper nach folgenden Gruppen:

I. Konduktive Wirkung. Sie findet statt, wenn ein Strom den Körper durch unmittelbare leitende Verbindung mit einer Stromquelle durchfliesst.

a) Versuche mit Gleichstrom (Galvanisation) lassen sich bei Menschen mit einem Milliampèremeter und einer Akkumulatorenspannung von ca. 30 Volt sehr leicht anstellen. Zu messen ist dabei der elektr. Widerstand aus Stromstärke

und Spannung in Abhängigkeit von Ort und Grösse der Berührungsfläche, von Druck, Schweiss, Aufnahme von Nahrungs- und Genussmitteln, von Alter und Geschlecht. Zu untersuchen ist ferner der Einfluss der Kleidung und ihre Beschaffenheit auf die Stromwirkung.

b) Mit Wechselstrom (Faradisation) werden ähnliche Versuche mit wesentlich niedrigerer Spannung anzustellen sein. Zu messen ist dabei der Selbstinduktionskoëffizient des Körpers, seine Abhängigkeit von den Berührungsstellen und der Periodenzahl. Betrachtet man nämlich das Nervensystem als ein Netz verzweigter und gegen einander isolierter Leiter, so ist, wenn eine Induktionswirkung überhaupt nachweisbar ist, auch eine solche Abhängigkeit zu vermuten. Vielleicht gelingt es hiebei, auch Licht über die Frage zu verbreiten, warum hinsichtlich der physiologischen Wirkung die Wechselströme so wesentlich verschieden von den Gleichströmen sind und ob etwa das Versagen des Selbstschutzes des Körpers durch Polarisation die grössere Gefahr des Wechselstroms gegenüber dem Gleichstrom bedingt.

c) Der Wirkung oszillatorischer Ströme (Franklinisation) ist der Mensch, abgesehen von Wirkungen atmosphärischer Elektrizität, beim Arbeiten mit Elektrisiermaschinen und Kondensatoren ausgesetzt.

II. Induktive Wirkung, d. h. die Wirkung eines sich ändernden Magnetfeldes auf den menschlichen Körper. Solche Wirkungen, welche in der Tat nach den Versuchen von Dr. K. Müller in Zürich zu bestehen scheinen, werden zu Heilzwecken benützt, während dabei der Elektrotechniker die Intensität des Magnetfeldes und ihre Änderung mit dem Messinstrument festzustellen haben wird. (Bei einem tötlich verlaufenen Unfall beim Einschalten eines Hochspannungstransformators während der Zeit, als der Verunglückte an ihm arbeitete, schien eine induktive Wirkung nicht ausgeschlossen, weil der Sektionsbefund die Abwesenheit jeder äusseren Verletzung bekundete.)

III. Kapazitative Wirkung. Es handelt sich hier darum, dass eine Person isoliert steht, oder dass auf andere Weise, mit oder ohne leitende Berührung eine elektrische Verteilung auf der Körperoberfläche hervorgerufen und auf ihr Potentialdifferenzen erzeugt werden. Eine Ladung des im übrigen isolierten Körpers mittels einer Elektrisiermaschine unter direkter Berührung

des Konduktors ist mit irgend welcher Empfindung, abgesehen von der des Haarsträubens, bekanntlich nicht verbunden. Ob man es bei Betäubung von Personen durch entfernt von ihnen niedergehende Blitze mit induktiven Wirkungen durch Seitenentladungen zu tun hat, steht noch dahin.

IV. Aktinische Wirkungen treten auf durch elektrische Strahlen, wie sie bei der Funkentelegraphie als Schwingungen durch den Raum gesandt werden. Ob diese Schwingungen den Körper beeinflussen, etwa, indem sie einzelne Teile mitschwingen machen, oder Kohärwirkungen ausüben, ist noch nicht festgestellt.

V. In einer weiteren Gruppe fasst Dr. Müllendorf alle durch den elektrischen Strom mittelbar herbeigeführten Wirkungen der Wärme, die der sichtbaren und unsichtbaren Strahlen, unter Umständen auch die des Schalles zusammen. Hieher gehören Verbrennungen durch Stichflammen beim Schmelzen von Sicherungen oder bei Kurzschlüssen, ferner Störungen der Gesundheit durch Schallwirkungen im Fernsprechbetrieb. Explosives Durchschmelzen von Sicherungen, weiter bei Strassenbahnwagen die letztere Erscheinung, sowie die auch dabei auftretenden Lichterscheinungen, oder solche bei Gewittern, verursachen bei vielen Menschen ein plötzliches Erschrecken, das bei Unfällen, die mit Elektrizität zusammenhängen, überhaupt eine wesentliche Rolle spielt.

Die Wirkung der sichtbaren und unsichtbaren Strahlen beim elektrischen Schweissverfahren, bei Bogenlampen, vor allem bei Quarzlampen ist bekannt und überrascht durch die Mannigfaltigkeit der Begleit- und Folgeerscheinungen. Ganz besonders beachtenswert sind in dieser Hinsicht die Röntgenstrahlen, welche ja vorwiegend zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken in der Medizin verwendet werden und von denen noch später die Rede sein wird. Bei weichen Röhren findet eine Wirkung vorwiegend auf die Haut, bei harten auf innere Organe statt, wobei diese Strahlen eine Verödung der Zellen bildenden Drüsen, (Ovarien, Testikel) und damit Sterilität herbeiführen können. Ärzte, Wärter und Krankenpflegerinnen haben sich deshalb durch Bleischürzen zu schützen, auch ist es gut, die Röhre von einem allseitig mit Blei ausgeschlagenen Holzkasten soweit als angängig zu umgeben. Wichtig wäre es, festzustellen, welche Ausdehnung ein solches Strahlenfeld über das Behand-

lungszimmer hinaus hat. Dass photographische Platten, die sich in einem Schrank im Nebenzimmer befanden, durch Wand und Tür hindurch verdorben wurden, ist bekannt.

Auf der oben geschilderten starken Reizung der Hemmungsbahnen und der damit in Zusammenhang stehenden Lähmung der Bewegungen beruht auch die merkwürdige Tatsache, dass niemand mehr imstande ist, eine angefasste und von starkem Strom durchflossene Leitung wieder loszulassen, so lange man mit dem Erdboden unisoliert in Verbindung steht.

Angefasste Drähte können nicht mehr losgelassen werden.

Von den vielen hieher gehörigen Beispielen möchte ich nur das folgende erwähnen:

> „Am 16. März 1894 riss durch starken Schneefall ein Leitungsdraht der Telephonleitung zwischen Mühlau und Innsbruck. Der Draht berührte den Boden nicht, kam aber auf eine unter ihm gezogene Hochspannungsleitung der Beleuchtungsanlage zu liegen. Zwei Studenten gingen dort spazieren, der eine erfasste unvorsichtigerweise den herabhängenden Draht und rief im selben Augenblick zu seinem Freunde: „Reiss mich los!“ Dann stürzte er, ohne den Draht loslassen zu können, rückwärts über. Der andere Student versuchte, mit seinem Stocke dem auf dem Boden liegenden Freunde den Draht aus der Hand zu schlagen, erhielt aber dadurch selbst einen solchen elektr. Schlag, dass er bewusstlos niederstürzte und über die Strassenböschung herabkollerte. Noch 14 weitere Personen wurden bei dem Versuche, den armen Studenten zu retten, mehr oder minder beschädigt; aber der Unglückliche war tot und seine Leiche konnte erst von dem Drahte befreit werden, als der elektr. Strom abgestellt war.“

So hält also die Elektrizität ihr Opfer, das sie einmal erwischt hat, fest, gleichsam, als ob sie sich dafür rächen wollte, dass sie gefesselt wurde und in rast- und massloser Arbeit dem Fortschritte der Menschheit dienen muss.

Aber es geht noch weiter! So wie ein unter Strom befindlicher Draht, wenn er einmal ergriffen ist, nicht mehr losgelassen werden kann, so hat ein solcher Draht noch die andere unliebsame Eigenschaft, dass er sich, wenn man sich ihm nähert, an den Körper hinzieht und ihn unter Umständen auch umschlingt.

Ein Beispiel von vielen möchte hier kurz erwähnt sein:

„Am 3. November 1900 riss in Wien ein gewöhnlicher Telephondraht ab, er kam auf die Hochspannungsleitung der elektr. Bahn zu liegen und baumelte herab, ohne den Boden zu berühren. Um Mitternacht hörte man gellende Hilferufe auf der Gudrunstrasse: eine Frau war wie vom Schlage gerührt plötzlich niedergestürzt: ein Mann, der ihr zu Hilfe eilen wollte, stürzte auch zusammen, zwei Männer, die beistehen wollten, hatten das gleiche Schicksal — wenige Sekunden waren hinreichend gewesen, dieses Unheil anzurichten. Der Mann, welcher zuerst Hilfe bringen wollte, war förmlich stranguliert, denn ihm hatte sich mit Blitzesschnelle der Draht um den Hals geschlungen. Erst, nachdem durch telephonisches Anrufen der Strom abgestellt worden war, konnten die vier Leute befreit werden, sie hatten entsetzlich zu leiden gehabt, waren aber mit dem Leben davon gekommen."

Nach all' diesen Aufzählungen von Gefahren elektr. Anlagen, deren Reihe ich jedoch keineswegs als völlig erschöpft betrachtet haben möchte, möchte ich nun auch die Frage aufwerfen: „Kann denn gar nichts geschehen, um solchen Gefahren vorzubeugen?" Da möchte ich vor allem für den Laien einiges wiederholen, was ich teilweise schon früher erwähnt habe.

Allgemeines über den Schutz vor elektrischen Gefahren.

„Man hüte sich, wenn man geerdet ist, d. h. durch feuchten Grund, feuchte Schuhe, Wasser, Metallschienen oder Metallplatten, durch Gas- oder Wasserleitungsröhren mit der Erde leitend verbunden ist, elektrische Leitungen oder Metallteile von elektr. Leitungen anzufassen. Selbst solche Metallteile von elektr. Apparaten, die ordnungsgemäss spannungslos sind, können durch einen verhängnisvollen Zufall Schluss mit der Stromleitung bekommen. Und umgekehrt: man berühre, wenn man eine elektr. Lampe oder einen elektr. Motor anfasst, nicht zugleich auch Gas- oder Wasserleitungsröhren oder sonstwie irgendwelche Leitungen, welche uns mit der Erde in Verbindung setzen. Man hüte sich, einen elektr. Apparat, (Motor, Lampe u. dgl.) für spannungslos zu halten, wenn er ausgeschaltet ist, ausser wenn die Ausschaltung zweipolig erfolgt ist. Meistens aber werden solche Apparate

nur einpolig ausgeschaltet und bleiben also mit einem Pole der Maschine oder des Netzes verbunden."

Schutz der Arbeiter vor elektrischen Gefahren.

Wie hat sich nun aber der Arbeiter, der an elektr. Leitungen oder Apparaten zu arbeiten hat, zu schützen? Hiefür besitzen wir eine ganze Reihe Vorschriften und genaue Verhaltungsmassregeln, von denen ich nur kurz einige erwähnen möchte:

Der Arbeiter soll womöglich den betr. Gegenstand mit beiden Polen von der Leitung abschalten. Soll und kann aber die Leitung nicht oder nur einpolig abgeschaltet werden, dann muss sich der Arbeiter selbst von der Erde isolieren oder er darf an den Elektrizität führenden Teilen nur mit entsprechend der Spannung gut isolierenden Handschuhen (aus Gummi) und nur mit Werkzeugen mit isolierten Griffen (aus Gummi) arbeiten.

Über den Gebrauch der Isolierzangen.

Handelt es sich z. B. darum, einen elektr. Starkstrom rasch zu unterbrechen, so werden die Leitungsdrähte durchschnitten, wozu man sich sog. Isolierzangen bedient. Dies sind Schneidezangen, deren Griffe unten durch starken Gummiüberzug isoliert sind, ausserdem gestattet ein eingesetzter Stift den Schluss der Zange nur so weit, bis der Draht durchschnitten ist, so dass sich die beiden Hände unten nicht berühren können. Wenn auch der elektr. Strom durch dieses Durchschneiden der Leitung sofort unterbrochen wird und weitere Gefahren beseitigt sind, besonders, wenn der herabhängende Draht möglichst hoch über dem Erdboden oder über der verunglückten Person abgeschnitten wird, so ist doch dieses Abzwicken unter Strom befindlicher Leitungsdrähte nicht auch ohne Gefahr ausführbar und muss mit grösster Vorsicht geschehen. Man muss sich nämlich beim Abschneiden der Leitungen wohl hüten, zu nahe mit den Augen an die Stelle hinzugehen, weil bei der Unterbrechung der Leitung sich starke Funken bilden können und manchmal geschmolzenes Metall in kleinen Kügelchen umherspritzt. Besonders hat Eisen die unliebsame Eigenschaft, sehr stark zu spritzen. Diese Feuererscheinungen sind natürlich um so heftiger, je höher die Stromspannung und je stärker der Strom ist; sie werden die in der Nähe der Durchschneidungs-

stelle sich befindenden Personen fast immer in Gefahr bringen. Ausserdem ist zu beachten, dass wenn ein derart durchschnittener Draht einer Hochspannungsleitung mit dem einen Ende auf den Erdboden zu liegen kommt, sich beim Stromübergang zur Erde gleichfalls heftige Stichflammen bilden können, die der Umgebung unter Umständen gefährlich werden können. Ausserdem aber könnten bei dem ohne entsprechende Vorkehrungen ausgeführten Durchschneiden von Leitungsdrähten unter Umständen die Tragstangen zufolge einseitiger Entlastung vom Zug derart beansprucht werden, dass sie abschnellen und umstürzen, was wiederum grosse Gefahren mit sich bringen kann.

Schutzanzug von Artemieff.

Eine ganz andere Methode, sich gegen die Schläge hochgespannter Leitungen zu schützen, besteht darin, sich mit einer Art metallischen Haut zu umgeben. Die gut leitende Oberfläche lässt eben keine Elektrizität eindringen, alle Elektrizität findet in dem Metallgewebe des Anzugs bessere Wege des Ausgleichs als durch den Körper. Herr Professor Nikolaus Artemieff, Direktor des elektrotechnischen Instituts in Kiew (Süd-Russland), ist der Erfinder eines patentierten Schutzanzuges gegen elektr. Hochspannung, der ursprünglich zum Schutze der Studierenden, die in den Laboratorien mit Untersuchungen und Messungen hoher Spannungen beschäftigt sind, bestimmt war, der ausserdem aber auch, wie die Vorführungen und Versuche des Erfinders gezeigt haben, in der Praxis bei Hochspannungsanlagen vielfach mit Vorteil benutzt werden kann. Der Schutzanzug besteht aus einem feinen, biegsamen Metallgewebe; er bildet ein zusammenhängendes Kleidungsstück, das den ganzen Körper, auch Kopf, Hände und Füsse, einhüllt. Zur Erzielung grösserer Haltbarkeit ist der Metallanzug auf einem Leinenstoffgewand gearbeitet. Er ist so eingerichtet, dass man ihn auch ohne fremde Hilfe anlegen kann; die hierzu erforderlichen Schlitze beeinträchtigen die Wirksamkeit nicht, vorausgesetzt, dass dieselben vorschriftsmässig geschlossen sind. Der Anzug wird über der gewöhnlichen Kleidung getragen. Das Metallgewebe vor dem Gesicht und an den Händen behindert das Sehen und Hantieren in keiner unzulässigen Weise. Der Schutzanzug kann in zweifacher Hinsicht als Schutzmittel wirksam werden.

Der menschliche Körper wird durch das Metallgewebe kurzgeschlossen. Zwischen zwei Punkten am Körper können keine schädlichen Spannungsdifferenzen auftreten. Der Widerstand des Anzuges ist kleiner als 0,01 Ohm, der des menschlichen Körpers grösser als 2000 Ohm, in beiden Fällen von Hand zu Hand gemessen. Es würde danach bei Annahme der genannten Grenzwerte beim Entstehen eines Kurzschlussstromes von 1000 Ampère erst eine Spannung von 10 Volt von Hand zu Hand entstehen und der den Körper durchfliessende Zweigstrom höchstens 0,005 Ampère betragen, und somit gänzlich ungefährlich sein. Mit Rücksicht auf die Erwärmung des Kupfergewebes durch Stromwärme wird man aber noch unterhalb dieses Wertes von 1000 Ampère bleiben müssen, da der Anzug etwa 200 Ampère dauernd und etwa 600 Ampère für einige Sekunden führen kann.

Der Schutzanzug verhindert ferner, dass Ladungsströme in den menschlichen Körper eindringen. Man kann deshalb mit dem Schutzanzug bekleidet in einer gut isolierten Hochspannungsanlage jeden beliebigen Punkt ohne Gefahr berühren. Ist die Anlage nicht gut isoliert, so ist die Berührung trotzdem statthaft, wenn man selbst sich gut isoliert, etwa auf einer Hartgummiplatte oder auf einem Brett auf starken Porzellanisolatoren aufstellt. Hierauf bezügliche Versuche sind ausgeführt worden bei Spannungen bis zu 200 000 Volt. Voraussetzung ist in beiden Fällen, dass man nicht gleichzeitig verschiedene Pole mit einander verbindet, da es sich dann nicht mehr um den geringen Ladungsstrom, sondern um einen mehr oder weniger hohen Kurzschlussstrom mit Flammenbogenbildung handelt. Die Metallhülle schützt also vor Lebensgefahr gegen Hochspannung, weil sie keine tötlichen Ströme in den Körper eindringen lässt.

Der Schutzanzug ist nicht nur in Laboratorien beim Arbeiten mit hohen Spannungen und kleinen Stromstärken verwendbar, sondern er wird bei richtiger Anwendung auch in der Praxis in Hochspannungsanlagen vielfach gute Verwendung finden, und wird mehr zu empfehlen sein, als Gummischuhe und Gummihandschuhe. Je höher die Spannung ist, um so weniger bequem und zuverlässig wird der Schutz durch diese, und um so mehr wird der leitende Metallanzug einen Schutz gewähren. Er gestattet, wenn man die schädlichen Lichtbögen nach dem Anzug

hin vermeidet, ohne Gefahr und ohne Betriebsunterbrechung direkt an einer unter Spannung befindlichen Leitung Arbeiten vorzunehmen. Beispielsweise könnte auch bei einem Brande in einer Hochspannungsanlage der den Schlauch bedienende Mann, mit dem Schutzanzug bekleidet, in beliebiger Nähe des Brandherdes mit dem Schlauch und dem metallenen Mundstück hantieren, ohne dass elektrische Ströme von etwa vorhandenen unter hoher Spannung stehenden Leitungen durch den Wasserstrahl auf seinen Körper übergehen. Die Herstellung und den Verkauf der Anzüge hat die Firma Siemens & Halske A.G. übernommen.

Zum Schluss meiner Betrachtungen über die elektr. Unfälle möchte ich noch, nachdem ich seither in der Hauptsache nur Warnungen hinsichtlich der Behandlung der elektr. Ströme ausgesprochen habe, noch kurz mit einigen Worten die Frage beantworten: „Was haben wir, ausser den schon besprochenen Warnungen, zu tun, um den Gefahren der elektr. Anlagen zu begegnen?“

Weitere Massregeln zum Schutz vor elektrischen Gefahren.

Wenn jemand einen abgerissenen Draht bemerkt, der gegen den Boden herabhängt, oder gar, wenn jemand einen Menschen bemerkt, der so unglücklich war, mit einem solchen Draht in Berührung zu kommen, oder gar ihn ergriffen zu haben, so sende man vor allem einen zuverlässigen Boten zur schleunigsten Abstellung des elektr. Stromes an die betr. Elektrizitätsstelle, oder man benachrichtige telephonisch oder telegraphisch diese Elektrizitätsstelle. Auf alle Fälle muss die Ortspolizei oder irgend ein Organ derselben von dem Unglück in Kenntnis gesetzt werden, um schleunigste Abstellung herbeizuführen. Bei einem abgerissenen Draht bleibe man stehen und warne alle des Wegs kommenden Leute vor dessen Berührung und veranlasse sie, in weitem Bogen daran vorüberzugehen. Kann man jemand finden, der einstweilen einen solchen Warnungsposten übernimmt, so eile man, so rasch man kann, die erforderliche Meldung der Ortspolizei oder den sonst zuständigen Stellen zu überbringen.

War wirklich ein Mensch so unglücklich, einen elektr. Draht zu erfassen und daran kleben zu bleiben, so hüte man sich sorgfältig, dessen Körper, so lange dieser mit der Elektrizitätsquelle in Verbindung steht, mit den blossen Händen zu berühren, selbst nicht an bekleideten Stellen, z. B. an den Beinkleidern oder an den Ärmeln, weil die Gefahr, sich selbst sehr gefährlichen elektr.

Schlägen auszusetzen, eine sehr grosse ist. Man suche die Hände sich möglichst zu schützen, d. h. zu isolieren, am besten durch gute, weit über die Handwurzel heraufgehende Gummihandschuhe. Ausserdem dient noch als Schutz für die Hände das Eintauchen derselben in Öl (Fettöl ist hier gemeint) u. zwar so, dass die Hände förmlich davon triefen, da Fettöl ein sehr guter Isolator ist. Hat man keine solche Gummihandschuhe im Besitz oder zur Hand, so schütze man die Hände durch 4—5-, eventuell 6fach übereinandergezogene wollene Strümpfe, welche man dann wieder in Fettöl tauchen kann, oder man schütze seine Hände durch eine 2—3fach zusammengelegte wollene Decke. Dann versuche man den Körper des Verunglückten mit derartig geschützten Händen aus der Drahtumschlingung emporzuheben, wodurch die Erdverbindung und damit der elektr. Strom zur Erde unterbrochen ist und der Verunglückte befreit werden kann.

Durch Unterschieben eines Bündels trockener wollener Decken oder eines guten starken Bundes trockenen Strohes unter den Körper des Verunglückten kann gleichfalls die Stromverbindung mit der Erde unterbrochen werden; aber trocken, strohtrocken, muss alles sein, sonst hilft es nichts, weil eben Feuchtigkeit die Elektrizität gut leitet.

„Ein interessanter Fall der Rettung eines Verunglückten ist vor einiger Zeit in München dem Assistenten Fried am Kgl. Bayer. Landes-Feuerwehr-Bureau geglückt. Von einem an der betr. Unglücksstelle vorüberfahrenden Flaschenbierfuhrwerk erbat und erhielt er einige leere Literflaschen, diese legte er auf den Boden und auf die Flaschen ein Brett, auf welches er selbst hinaufstieg und so gegen den Boden isoliert war. Mittelst eines anderen Brettes gelang es, den Körper des Verunglückten emporzuheben und rasch wurden auch unter dieses Brett leere Flaschen gelegt und so lag binnen kurzer Zeit der Mann auch auf einem isolierten Brette und jetzt erst konnte er den Draht, den er krampfhaft in der Hand hielt, loslassen und so schliesslich gerettet werden."

Durch d. elektr. Strom Verunglückte sind wie Scheintote zu behandeln.

Ist die Befreiung des Verunglückten gelungen, so behandle man denselben wie einen Scheintoten oder durch giftige Gase Betäubten. Man löse alle beengenden Kleidungsstücke an Hals,

Brust, Schultern und Unterleib und sorge dafür, dass der Kopf etwas erhöht und bequem gelagert werden kann. Eine tiefe Lagerung des Kopfes ist auf alle Fälle verkehrt, zumal bereits im allgemeinen Symptome des Hirndrucks vorhanden sein werden. Alsdann ziehe man die Zunge des Verunglückten vor und leite in aller Ruhe die Bewegungen der künstlichen Atmung mit etwa 18 bis 20 Atemzüge in der Minute ein. Zu gleicher Zeit sehe man sorgfältig darauf, dass die einströmende Luft auch wirklich in die Lungen gelangt und nicht etwa durch den auf dem Kehlkopfeingang liegenden Kehlkopfdeckel daran gehindert wird. Das richtige Einströmen der Luft verrät sich dabei durch ein pfeifendes Geräusch. Empfehlenswert bleibt während der künstlichen Atmung ein scharfes Bürsten der Fusssohlen; niemals darf aber einem durch elektr. Strom Verunglückten Branntwein, oder irgend ein sonstiges geistiges Getränk, oder ein ähnliches Reizmittel eingeflöst werden.

Die künstliche Atmung sollte auf alle Fälle, selbst wenn es sich um Stunden handelt, so lange fortgesetzt werden, bis der Arzt eintrifft. [Dieser wird dann die Rettungsarbeiten durch Einspritzen von Kampfer, durch die Vornahme der Lumbalpunktion und durch Herzmassage wirksam unterstützen.]

Zeigt sich auch nach mehreren Stunden kein Lebenszeichen mehr, so bleibt als allerletztes Mittel, nach dem Vorschlage von Dr. Jellinek, die nochmalige Anwendung des elektr. tötlichen Schlages, der, nach den seither schon gemachten Erfahrungen, bisweilen wieder lebensrettend wirkt.

Es kann also bei allen derartigen elektr. Unfällen eine möglichst intensive und langandauernde Rettungsarbeit unter baldiger Heranziehung eines Arztes nur dringend empfohlen werden.

Um das Publikum darüber aufzuklären, wie es sich in solchen kritischen Fällen zu benehmen hat, ist es daher zu begrüssen, wenn von Zeit zu Zeit entsprechende Belehrungen in den öffentlichen Tagesblättern veröffentlicht werden. Es dürfte daher interessieren, den Wortlaut kennen zu lernen, den die Direktion der Ulmer Strassenbahnen und Elektrizitätswerke am 25. Januar 1909 im Ulmer Amtsblatt und später noch verschiedenemal veröffentlicht hat. Die betreffende Veröffentlichung hatte folgenden Wortlaut:

Belehrungen über das Verhalten bei Drahtbrüchen elektr. Stromzuleitungen in der Nähe von Strassenbahnlinien.

„Gefährdungen für das Publikum können dadurch entstehen, dass Telegraphen- und Telephondrähte bei stürmischer Witterung, Schneefall, Beflaggungen und dergl. brechen und mit den elektr. Starkstromleitungen der Strassenbahn in Berührung kommen.

Es sollen hiemit dem Publikum für sein Verhalten bei derartigen Vorkommnissen nachstehende Vorsichtsmassregeln empfohlen werden:

1. Jede Berührung eines gebrochenen und herabhängenden Drahtes mit irgend einem Körperteil oder mit einem in der Hand getragenen Gegenstand (Stock, Schirm oder dergl.) ist zu vermeiden. Wagen und Zugtiere sind vor Berührung mit dem Draht in acht zu nehmen.
2. Wird ein Drahtbruch bemerkt, so ist sofort der nächste Schutzmannsposten oder Angestellte der Strassenbahn, der Telegraphenverwaltung oder des Elektrizitätswerks hievon zu verständigen. Die Meldung kann auch telephonisch an das Elektrizitätswerk oder das Rathaus erfolgen. Des Wegs kommende Personen oder Fuhrwerke sind durch Zurufe zu warnen.
3. Sind Menschen oder Tiere mit dem herabhängenden Draht in Berührung gekommen, und nicht im Stande, sich selbst zu befreien, so kann man, solange die in Ziffer 2 bezeichneten, fachkundigen Organe noch nicht zur Stelle sind, selbst helfend eingreifen. Dabei hüte man sich, unbekleidete Körperstellen oder bei Regen die durchnässten Kleider des Verunglückten, ferner die Erde oder die Schienen mit der blossen Hand zu berühren und schütze sich davor durch Umwickeln der Hände mit trockenen Tüchern, Decken oder Kleidungsstücken. So ausgerüstet, braucht man nur den Verunglückten anzufassen, von den Schienen oder dem Draht wegzuheben oder einen zusammengelegten, trockenen Teppich oder ein trockenes Kleidungsstück zwischen Körper und Schiene zu schieben, wodurch der Strom sofort unterbrochen wird. Ein anderes Mittel, sich zu schützen, besteht darin, dass man sich auf ein trockenes Brett oder Kleidungsstück stellt und nun versucht, den Verunglückten vom Draht zu befreien.
4. Der befreite Verunglückte wird sodann wie ein Erstickter oder Ertrunkener behandelt, d. h. auf den Rücken gelegt; die Kleidungsstücke werden über der Brust geöffnet, frische

Luft wird zugefächelt, und wenn der Verunglückte nicht mehr atmet, wird vorsichtig, bis ein Arzt zur Stelle ist, die künstliche Atmung eingeleitet in der üblichen Weise durch regelmässiges Heben und Wiederandrücken der Arme oder durch Vorziehen und Zurücksinkenlassen der Zunge.

5. Sind Organe der Polizei oder der Strassenbahn zugegen, so wird dringend ersucht, diesen die Befreiung des Verunglückten zu überlassen.

Ulm, den 25. Januar 1909. Die Direktion: Reichardt."

Gefahren in der Elektrotherapie.

Bei der Besprechung der Gefahren der Elektrizität für den Menschen, möchte ich auch noch auf einen Punkt in der Elektrotherapie hinweisen, wo die Anwendung der Elektrizität unter Umständen auch gefährlich werden kann. Die Elektromedizin hat bekanntlich in den letzten Jahrzehnten grosse Fortschritte zu verzeichnen gehabt, sie hat sich die Ergebnisse der Elektrotechnik reichlich zu Nutzen gemacht und beide Wissenschaften haben sich gegenseitig befruchtet und angeregt. Der Diagnostik mittelst der Röntgenstrahlen dürfte wohl der Vorrang unter allen elektromedizinischen Errungenschaften gebühren. Das Röntgenkabinet ist heute zum unentbehrlichen Hilfsmittel jedes modern eingerichteten Krankenhauses geworden.

Gefährlichkeit der Röntgenstrahlen.

Aber auch nachteilige Wirkungen sind, wie schon früher kurz erwähnt, bei der Anwendung der Röntgenstrahlen nicht ausgeblieben. Dass die Einwirkung von Röntgenstrahlen unter Umständen zu Hautentzündungen führen kann, die einen oft recht hartnäckigen Verlauf nehmen, ist schon länger bekannt. Dagegen ist die Tatsache weniger bekannt, dass auf dem Boden

Röntgen-Krebs.

einer solchen Entzündung direkt ein Krebs entstehen kann. So weist Dr. med. Hanau von Frankfurt in einer in der „Elektrotechn. Zeitschrift" vom 6. Juni 1907 erschienenen interessanten Abhandlung über Elektrotherapie unter anderem darauf hin, dass während von einer Anzahl von Ärzten die Röntgenbehandlung zur Heilung des Hautkrebses empfohlen wurde, neuerdings auch Fälle bekannt geworden seien, wo durch Anwendung der Röntgenstrahlen Krebs direkt erzeugt wurde. In der französ. Gesellschaft für Hautkrankheiten seien zwei Fälle von Gesichts-Hautkrebs gezeigt worden, bei welchen die Röntgenstrahlen Schwellung und Zerfall der Ohrspeicheldrüsen hervorgerufen haben. Die Untersuchung derselben habe eine rasch wachsende Krebsgeschwulst hervorgerufen. Ebenso habe der Schweizer

Chirurg Prof. Wyss bei Frauen, die wegen Lupus des Gesichts behandelt worden seien, nach mehrmaliger Bestrahlung Hautkrebs sich entwickeln sehen. Diese Geschwülste seien herausgeschnitten worden und die mikroskopische Untersuchung habe gezeigt, dass es sich in der Tat um Hautkrebs handelte.

Die „Münchener Allgemeine Zeitung" vom 20. Februar 1909 berichtet, dass in der medizinischen Literatur bis jetzt schon einige 30 durch Röntgenstrahlen erzeugte Hautkrebse bekannt seien. Es ist merkwürdig, dass auch hier wieder der Kulturfortschritt einen Schaden im Gefolge gehabt hat. Dieselben Strahlen, die in vielen Fällen von flachem Hautkrebs anscheinend mit Erfolg Verwendung gefunden haben, rufen in anderen Fällen eine Erkrankung an Krebs hervor. Befallen werden hauptsächlich Personen, die sich beruflich mit der Röntgentechnik befassen. So berichtet Dr. Coenen von der Breslauer Universität über einen Fall von Hautkrebs an zwei Fingern bei einem Röntgentechniker, der über zehn Jahre mit Röntgenröhren zu tun gehabt hatte. Er litt zunächst an einer hartnäckigen Hautentzündung, bis sich am linken Zeig- und Ringfinger ein Krebsgeschwür entwickelte. Die mikroskopische Untersuchung ergab mit Sicherheit, die krebsige Natur des Prozesses. Die erkrankten Fingerteile wurden amputiert; erst dann trat volle Heilung ein. Andere Fälle verliefen weniger günstig. Ein in Chicago bekannter Arzt verlor seinen Arm und ging dann an Krebsmetastasen zu Grunde. Ebenso endete ein Fall von Röntgenkrebs bei einem 32jährigen Röntgentechniker, der sich nur drei Jahre den Strahlen ausgesetzt hatte. Nach Coenens Ansicht entsteht der Röntgenkrebs direkt durch eine primäre Schädigung der obersten Hautzellschicht, des Epithels; dieses wird unter dem Einflusse der Röntgenstrahlen in einen chronischen Reizzustand versetzt. Nun ist bekannt, dass die tuberkulöse Erkrankung der Haut, der Lupus, an sich schon wegen der meist dabei auftretenden atypischen Epithelwucherungen die Krebsentwicklung begünstigt. Wird der Lupus bestrahlt, so wird damit noch ein zweites die Krebsentwicklung förderndes Moment hinzugefügt. In der Tat entstand auch in der Hälfte der bisher bekannt gewordenen Fälle der Röntgenkrebs auf dem Boden des Lupus. Für die Praxis ergibt sich daraus die Forderung, die Röntgenbestrahlung des Lupus fallen zu lassen. Für die Röntgentechniker aber sind die schärfsten Schutzmassregeln gegen die Strahlen zu for-

dern: tritt eine Hautentzündung auf, so muss die Beschäftigung mit den Röntgenapparaten unbedingt eingestellt werden.

Die oben erwähnte und durch Beispiele erhärtete Tatsache, dass die Röntgenstrahlen unter Umständen direkt den Krebs erzeugen können, wird von anderer Seite energisch bestritten. Wie dem nun auch sein mag, eines darf nicht verschwiegen werden, dass die Röntgentechnik gerade im Laufe der letzten Jahre so erhebliche Verbesserungen erfahren hat, dass direkte Schädigungen doch zu den Seltenheiten gehören. Trotzdem hört man noch immer hier und da, dass Anklagen wegen fahrlässiger Körperverletzung durch Röntgenbestrahlung und Schadenersatzansprüche erhoben werden. In einzelnen dieser Fälle lag der Sachverhalt so, dass der Arzt die Bedienung der Apparate vollkommen der bei ihm angestellten „Röntgenschwester" überlassen hatte. In einem anderen Falle, so berichtet die Münchener Allgemeine Zeitung Nr. 10 vom 6. März 1909, war der Arzt zur Zahlung einer erheblichen Schadenersatzsumme verurteilt worden, weil er die Eintragung von Notizen über Art und Dauer der Bestrahlung unterlassen hatte. Dr. H. E. Schmidt tritt deshalb in der „Therapeutischen Rundschau" ganz kategorisch dafür ein, dass die Einstellung, Abdeckung und Kontrolle der Röntgenröhre vom Arzt selbst besorgt wird. Zum mindesten ist eine ärztliche Kontrolle der mit dem Röhrenbetrieb betrauten Gehilfen oder Gehilfinnen erforderlich. Jedenfalls sollte der Arzt vor einer Untersuchung oder Behandlung mit Röntgen-Strahlen stets darnach fragen, ob der Patient bereits einer Bestrahlung ausgesetzt gewesen und wie lange Zeit seitdem verflossen ist. Auch sollten bei der Schwierigkeit, die der gerichtlichen Entscheidung in strittigen Fällen erwachsen, nur anerkannte Röntgenologen als Sachverständige herangezogen werden.

Röntgenstrahlen vor Gericht.

Aber nicht nur die Röntgentherapie muss wegen ihrer bedenklichen, oft geradezu gefährlichen Nebenwirkungen mit grösster Vorsicht gehandhabt werden, auch in der eigentlichen Lichttherapie, bezw. Phototherapie, d. h. in der Behandlung durch Finsen-, Eisen- oder Quecksilberdampflampen ist immer die nötige Vorsicht zu beachten. Da die älteste und natürlichste Lichtheilkünstlerin, die uns zugleich auch die intensivste Lichtquelle liefert, nämlich die Sonne, nicht alle Tage uns ihren wärmenden und heilenden Schein liefert, so ist die Lichtheilkunde auf die künstlichen Lichtquellen angewiesen, wo-

Vorsicht bei der Lichttherapie.

zu in erster Linie das elektr. Bogenlicht Verwendung findet. Der dänische Professor Finsen, der als der Begründer der Lichttherapie angesehen werden darf, hat zuerst darauf hingewiesen, dass es hier nicht auf die Menge des Lichts ankommt, sondern in erster Linie auf die Beschaffenheit seiner Strahlen. Da nun in der eigentlichen Lichttherapie, d. h. bei dem sog. Finsenverfahren, es sich meistens um die Heilung lokaler Hautkrankheiten handelt und diese Leiden bakterieller Natur sind, so handelt es sich bei der Lichtbehandlung vor allem darum, die betreffenden Bakterien durch die Wirkung des Lichtes zum Abtöten zu bringen. — Während man nun noch vor einigen Jahren den ultravioletten Strahlen eine ganz besondere Wertschätzung entgegenbrachte und ihnen grossen Heilwert zuschrieb, weiss man heute, dass sie durch ihren ätzenden Einfluss und ihre geringe Tiefenwirkung gar keinen grossen Wert als Heilmittel haben und nur in ganz seltenen Spezialfällen anwendbar sind. Die ultravioletten Strahlen dringen höchstens einen halben Millimeter tief in die Haut ein und machen durch die darin hervorgerufene Entzündung und eingeleitete Pigmentbildung jedes weitere Eindringen unmöglich. Neuere Forschungen haben nebenbei auch festgestellt, dass die ultravioletten Sonnenstrahlen die Ursache des Sonnenbrands sind, durch welche die Entzündung der Haut bedingt ist, während der Körper als Schutzmittel dagegen an diesen Stellen Pigmentfarbe absondert, welche die Wirkung der ultravioletten Strahlen mit der Zeit ganz aufhebt.

Gefährlichkeit der ultravioletten Strahlen bei der elektr. Lichtheilbehandlung.

Während also die Lichttherapie mit ihrer früheren Anwendung der ultravioletten Lichtstrahlen auf einem ganz falschen Wege war, ist sie in jüngster Zeit durch die neuesten Untersuchungen von Finsen wieder davon abgekommen und zur Blaustrahlung übergegangen. Für die Lichttherapie sind die blauen, indigo und violetten Strahlen, deren Wellenlänge zwischen 490 und 350 $\mu\mu$ oder zwischen 4900 und 3500 A. E. liegt, (*) insofern ganz besonders wichtig, als sie nicht nur in der kurzen Zeit von 5 Minuten allen Bakterien sicheren Untergang bereiten und auf alle wuchernden Missbildungen hemmend einwirken, sondern auch die grösste Tiefenwirkung besitzen und die Haut,

Vorzüge der elektr. Blaustrahlung.

(*) 1 Kayser'sche Einheit, d. h. 1 $\mu\mu$ ist $= \frac{1}{1\,000\,000}$ mm und

1 Angström'sche Einheit, d. h. 1 A. E. ist $= \frac{1}{10}\ \mu\mu = \frac{1}{10\,000\,000}$ mm.

Muskeln, Sehnen, Nerven, Knorpel und Knochen des menschlichen Körpers so durchdringen, dass kein unerreichter Herd mehr übrig bleiben und den Ausgang zu einer neuen Erkrankung bilden kann. Diese Strahlen üben auf die erkrankten Teile eine ganz vorzügliche Heilwirkung aus, die sich ganz besonders in der weichen Abheilung und narbenlosen Neubildung der durch die Krankheit zerstörten Gewebe kenntlich macht. Zudem ist die Anwendung dieser Strahlen eine schmerzlose und kann beliebig oft wiederholt und beliebig lange ausgedehnt werden, ohne durch Schmerzen oder Blutverlust die Behandlung zu beschränken. Zur neueren Lichtbehandlung gehört jedoch nicht bloss die Blaustrahlung, sondern es muss auch gefordert werden, dass das Licht intensiv, kalt und gleichmässig ist. Um das elektr. Bogenlicht intensiver zu gestalten, sammelte Finsen das Licht durch Reflektoren und konzentrierte es durch Linsen auf eine Kreisfläche von 2 cm Durchmesser. Da nun die Wirkung des Lichtes mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, so muss die Behandlung so erfolgen, dass die erkrankte Stelle der Lichtquelle möglichst nahe kommt. Dies kann jedoch nur geschehen, je besser es gelingt, die Wärmeentwicklung unschädlich zu machen und die Lichtstrahlen soweit abzukühlen, dass der Patient nicht störend beeinflusst wird und die Behandlung mindestens in 12 bis 13 cm Entfernung von der Lichtquelle vorgenommen werden kann.

Forderung einer intensiven, gleichmässigen u. kalten Lichtquelle.

Bis heute sind eben alle unsere Lichtquellen Hitzestrahler, so dass wir uns durch Wasser und Glasglocken helfen müssen, die Wärme abzufangen. Finsen lässt daher die Lichtstrahlen durch ein rohrartiges Gefäss gehen, welches zu beiden Seiten durch Glasglocken oder Linsen abgeschlossen ist, in dem reines kaltes Wasser ständig zufliessen und das erwärmte Wasser abfliessen kann. Sollen zugleich auch die roten, orange und gelben Strahlen ausgeschaltet werden, so wird dieses Kühlwasser in ein Lichtfilter verwandelt, indem es mit einer Lösung von Methylenblau oder von schwefelsaurem Kupferoxyd gefärbt wird. Der Unterschied beider Lösungen besteht darin, dass Methylenblau mehr Wärme und das andere mehr rote Strahlen verschluckt. Je länger nun solche als Kühlvorrichtung oder als Lichtfilter dienenden Apparate sind, desto weiter wird der Patient von der Lichtquelle entfernt sein müssen und desto schwächer wird die Wirkung der ganzen Behandlung sein. Das Defizit wird man

dann, wenn angängig, durch länger andauernde Bestrahlung auszugleichen suchen. Es ist also aus dem Angeführten der grosse Wert ersichtlich, den eine intensive und kalte Lichtquelle für die Lichtheilkunde haben muss. Diese zu beschaffen, würde eine dankbare Aufgabe der praktischen Elektrotechnik sein.

Einige besonders merkwürdige Fälle der Gefährdung durch elektr. Ströme.

Bevor ich zur Besprechung der elektr. Brandschäden übergehe, möchte ich noch auf einige Fälle der Gefährdung von Menschen durch elektr. Ströme zu sprechen kommen, von denen seither noch nicht die Rede war. Der eine Fall, den ich im Auge habe, erläutert sich am besten durch die Erzählung des betreffenden Vorfalls:

„Es war an einem Samstag, im Spätsommer des Jahres 1906, das genaue Datum ist mir leider nicht bekannt. In die Gartenvilla eines Herrn Martin in Genf kam gegen 8 Uhr abends ein Bäckergeselle, um das Frühstücksgebäck für den Sonntag abzuliefern. Das Dienstmädchen arbeitete in der Küche und da das Fenster offen stand, so legte der Geselle das Frühstücksgebäck auf die Fensterbank und sprach einige gleichgültige Worte, während das Dienstmädchen sich weiter mit ihrer Arbeit beschäftigte. Plötzlich ertönte ein durchdringender Schrei. Der Sohn des Hausbesitzers, der sich in einem Nebenraum befand, glaubte, ein Strolch hätte das Mädchen überfallen und stürzte in die Küche. Hier sah er den Bäckergesellen am Fenster lehnen, aber dessen Blick war unheimlich starr und gläsern. Der Sohn eilte ins Freie und sah den Bäckergesellen noch immer in der gleichen Haltung; er fasste ihn an der Schulter, doch in dem gleichen Augenblicke erhielt er einen heftigen elektrischen Schlag, der durch den ganzen Körper ging, so dass er einige Schritte zurücktaumelte. Zu gleicher Zeit stürzte auch der Bäckergeselle leblos auf das Pflaster nieder. Man hielt den Verunglückten nicht für tot, brachte ihn ins Haus und rief Arzt und Polizei herbei. Die Wiederbelebungsversuche erwiesen sich jedoch als fruchtlos und der Arzt stellte schliesslich den Tod durch Elektrizität fest. Dies erschien dem Hausbesitzer unfassbar, da ja an der Unfallstelle vor dem Küchenfenster sich gar kein Leitungsdraht befand. Er ging

deshalb hinaus, um nachzusehen, ob sich am Bau etwas verändert habe. Einige Augenblicke darauf vernahm man wieder im Haus einen durchdringenden Schrei. Man stürzte ins Freie und fand den Hausbesitzer zusammengebrochen vor dem Küchenfenster liegen. Sein Sohn eilte ihm zuerst zu Hilfe und erfasste ihn, um ihn aufzurichten, aber er schrie auf und stürzte gleichfalls zusammen. Seine Schwester wollte ihm und dem Vater helfen, sie wollte sie erfassen und sank im gleichen Augenblick unter erschütterndem Aufschrei zu Boden. Nun sprang ein Gendarm herbei und wollte dem Fräulein helfen; kaum hatte er jedoch das Fräulein berührt, als auch er zusammenbrach und neben die drei zu liegen kam. All' dies war das Werk nur weniger Sekunden. In diesem Augenblick der höchsten Gefahr gelang es endlich dem Hausbesitzer, der fortwährend unartikulierte Worte ausstiess, seine Finger von einem Eisendraht an der Hauswand zu entfernen und plötzlich fühlten sich alle vier, die auf dem Boden lagen, wieder frei. Man machte sich nun sofort daran, die Ursache dieses Unfalls zu ermitteln. An drei Seiten des Hauses war von der Erde bis zum Dach hinauf ein Drahtgitter angebracht, an dem wilder Wein, Glyzinien und Klematis emporrankten. In der Nähe dieses Drahtnetzes trat oben am Dache die elektrische Leitung ins Haus, die von der Zentrale einen Strom von 500 Volt Spannung zuleitete, der im Hause in einen Strom von 110 Volt umgewandelt wurde. Der Hausbesitzer hatte schon früher das Bedenkliche dieser Anlage erkannt und daher alle Ranken in der Nähe der Eintrittsstelle der elektr. Leitung wegschneiden lassen. Inzwischen hatte aber ein Trieb einer Glyzinie einen Teil des für die Pflanzen bestimmten Drahtes derart verschoben, dass er den Zuleitungsdraht berührte. Diese verhängnisvolle Veränderung, die hoch oben am Dache erfolgte, hatte man im Hause nicht bemerkt. Das gesamte Drahtwerk um das Haus herum war seit jenem Augenblick fortwährend elektrisch geladen und bildete so eine beständige Gefahr für die Hausbewohner. Nun fiel es auch auf einmal der Köchin ein, dass seit einigen Tagen das Leitungswasser

in der Küche, wenn es gerade ausgelassen wurde, ein prickelndes Gefühl in den Händen hervorrief. Dieses Warnungszeichen blieb aber unbeachtet, da die Köchin, wie sie sagte, dieses Prickeln auf ihre erregten Nerven zurückführte. Den Bewohnern der Gartenvilla, in der man seines Lebens nicht sicher war, wurde nun die Villa unheimlich und sie atmeten erst auf, als von einem Angestellten der elektr. Zentrale die Zuleitungsdrähte durchschnitten wurden."

Dieser betrübende Unfall zeigt, wie unvorsichtig zuweilen mit der Zuführung der Elektrizität in Privathäuser verfahren wird. Diese unheimliche Villa dürfte jedoch wohl kaum die einzige ihrer Art sein, vielleicht findet sich auch hier in Ulm oder um Ulm rum ein solches Landhaus, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen, die unter Umständen zu ähnlichen Unfällen führen könnten. Ich halte es daher für angebracht, den Besitzern von Garten- und Landhäusern anzuraten, ihre elektrischen Zuleitungen einmal nach dieser Richtung hin einer genauen Prüfung zu unterziehen.

Ein anderer, betrübender, Unfall führt uns zu anderen, bis jetzt noch nicht erwähnten Betrachtungen:

„Zu Anfang des Jahres 1907 (das genaue Datum ist mir leider nicht bekannt) wurden in Wien bei einem Metzger in einem Kellerraume Würste zubereitet. Über dem Arbeitstische hing eine elektr. Traglampe, deren Glasbirne durch einen Drahtkorb geschützt war. Dieser Drahtkorb war schon oft, während die Lampe brannte, ohne Schaden berührt worden. An dem betreffenden Tage arbeitete nun in dem durchnässten Raume ein Metzgergeselle, dessen Schuhe ebenfalls sehr durchnässt waren. Als dieser nun, aus irgend welcher Ursache, den Drahtkorb erfasste, konnte er sich nicht mehr von dem Drahtkorb losmachen (auf diese merkwürdige Erscheinung habe ich schon früher hingewiesen), er schrie laut auf und fiel tot zu Boden. Die Untersuchung dieses Unfalls ergab, dass in dem oberen Teile des Drahtkorbes sich kleine Fleischteile, Schmutz und Feuchtigkeit festgesetzt hatten, die einen vorzüglichen Leiter zwischen dem Drahtkorb und dem blanken Teil des den Strom zuführenden Glühlampengewindes bildeten. In dem

durchnässten Kellerraume, in welchem der Metzgergeselle sich befand, war also der betreffende Geselle durch seine feuchten Schuhe mit dem Erdboden gut leitend verbunden, er war also, technisch ausgedrückt, „gut geerdet", wodurch bei dem mächtigen Bestreben der Elektrizität, sich mit der Erde zu verbinden, der oben erwähnte elektr. Unfall sich einfach erklären lässt."

Stromsichere u. stromgefährliche Räume.

Dieser Unfall ist in doppelter Hinsicht für uns sehr belehrend. Er zeigt uns einerseits, dass, wie ich schon früher hervorgehoben habe, die Gefahren der Elektrizität für den Menschen um so grösser sind, je besser geerdet er ist. Mit nassen, durch und durch feuchten Schuhen ist man auf einem nassen, feuchten, Boden viel mehr elektr. Unfällen ausgesetzt, als mit trockenen Schuhen auf trockenem Boden. Gut geerdet ist aber auch der Mensch, wenn er ein Wasserleitungsrohr, oder ein Gasleitungsrohr anfasst, denn die Rohre sind gute Leiter und münden ins Erdreich. Daraus folgt auch, dass wir in unseren Häusern „stromsichere" und „stromgefährliche" Räume besitzen. Zu den letzteren zählen vor allem Keller, Waschküche und Badezimmer, die eine gute Ableitung zur Erde haben. In solchen stromgefährlichen Räumen, wie in Kellern, Waschküchen und Badezimmern sollte man daher keine elektr. Steh- und Traglampen benützen und ausschliesslich nur Deckenbeleuchtung zulassen. (Vergl. auch den früher erwähnten Unfall, der sich in Wien bei einem Dienstmädchen beim Baden ereignete.)

Über das Anbringen der Glühlampen.

Das Andere, was bei dem obigen Beispiel uns zu denken gibt, besteht darin, dass eigentlich alle Glühlampen so gebaut sein sollten, dass sämtliche stromzuführenden Teile verdeckt wären. Dies ist aber bei vielen Glühlampen leider nicht der Fall. Der Metallumschlag, der beim Sockel der Birne die Stromzufuhr vermittelt, ragt vielmehr oft soweit hervor, dass man ihn beim Erfassen der Birne berühren kann. Dies kann aber gefährlich werden, wenn z. B. ein Laie die Glühlampe auswechselt und dabei nicht dafür sorgt, dass der elektr. Strom während dieser Arbeit ausgeschaltet wird. Es sollten daher an den Gewindefassungen der Glühlampen Verbesserungen angebracht und auch die Hahnenschalter, die sich vielfach ganz dicht an den Lampen befinden, beseitigt werden. Ebenso wäre zu wünschen, dass jedes Haus, das eine elektr. Zuleitung besitzt, und

in Städten wohl auch jede solche Wohnung, einen Generalausschalter erhielten, so dass man in der Lage wäre, in Notfällen den elektr. Strom für das ganze Haus oder die betr. Wohnung abzustellen. Auch sollte an den Schaltern in den Zimmern durch Zeichen deutlicher gemacht werden, bei welcher Stellung der Strom offen und bei welcher er geschlossen ist. Dies ist vor allem für das Auswechseln verdorbener Glühlampen von Belang, da dies, wie schon erwähnt, bei manchen Lampen nicht unbedenklich ist, wenn es nicht bei ausgeschaltetem Strome vorgenommen wird.

Über die Verlegung von Leitungen.

Bei der Verlegung von Leitungen, die zur Übertragung von Starkstrom bestimmt sind, ist ferner darauf zu achten, dass bei einem etwa eintretenden Leitungsbruche die herunterfallenden Drähte nicht mit Metallleitungen in Berührung kommen. Kreuzen sich Starkstrom- und Schwachstromdrähte, oder Starkstromdrähte und die Schienen von Eisenbahnen, so sind zwischen den kreuzenden Drähten besondere Fangnetze oder Eisenkonstruktionen anzubringen, die im Falle eines Leitungsbruches die höher aufgehängten Drähte auffangen und eine Berührung der kreuzenden Leitungen oder Schienen verhindern.

Gefahren beim Telephonieren.

Auch das sonst so harmlose Telephon kann gelegentlich die Veranlassung sein, dass, wenn man sich seiner bedienen will, man heftige elektr. Schläge und unter Umständen schwere Gesundheitsstörungen davon tragen kann. Dies kann dann eintreten, wenn die Telephonleitung durch irgend einen Zufall mit einer Starkstromleitung in Berührung kommt, was bei sehr starken Stürmen vorkommen kann, wo unter Umständen ein Hochspannungsdraht und eventuell auch das darunter liegende Schutznetz weggerissen wird und so die Starkstromleitung auf eine Telephonleitung zu liegen kommt.

Steckkontakte.

Eine weitere Gelegenheitsquelle zu elektrischen Unfällen können die in unseren Wohnungen vielfach angebrachten Steckkontakte, die zum Ein- und Ausschalten eines elektr. Stromes dienen, bilden.

So kam es im vorigen Jahr in Berlin vor, dass ein kleiner Junge mit einer Haarnadel in einen Steckkontakt, der an der Wand angebracht war, bohrte. Der sofort erhaltene elektrische Schlag bewog jedoch den Jungen, das gefährliche Spiel rechtzeitig einzustellen und es nicht weiter mehr zu wiederholen.

Dieser eben angeführte Fall ist durchaus nicht vereinzelt und deshalb sollten in unseren Wohnungen alle Schalter, Steckkontakte und Taster in solcher Höhe angebracht werden, dass sie von den Kindern nicht erreicht werden können. Andererseits sollten die Eltern die Kinder auch auf die Gefahren aufmerksam machen, die mit derartigen Spielereien verknüpft sind.

Nachdem ich seither in der Hauptsache mich darauf beschränkt habe, die Gefahren der Elektrizität für den Menschen zu besprechen, möchte ich nunmehr zur Besprechung der durch die Elektrizität hervorgerufenen Brandschäden übergehen.

Über die durch Elektrizität hervorgerufenen Brandschäden.

Was die Zahl der elektrischen Brände anbelangt, so hat die genauere Untersuchung der zugrundeliegenden Ursachen gezeigt, dass z. B. die vom Verbande deutscher Privat-Feuerversicherungs-Gesellschaften alljährlich herausgegebene Statistik bei der Angabe der elektr. Brände vielfach sehr ungenau war. Auch die vom preuss. statistischen Landesamt in den statistischen Vierteljahrsheften herausgegebene Statistik über Brandfälle ist insofern ungenau und nicht zu gebrauchen, als dort z. B. unterschieden wird zwischen Brandfällen hervorgerufen durch „elektrische Leitungen“ und durch „Beleuchtungsgegenstände“, wobei aber diese letzte Rubrik sowohl die elektrischen wie die Gasbeleuchtungsgegenstände einschliesst. In einem in der elektrotechnischen Zeitschrift vom 30. Mai 1907 enthaltenen Aufsatz von Dettmar über „die Sicherheit elektr. Anlagen bezüglich Feuer und Leben“ wird von dem Verfasser an der Hand des verschiedensten, ihm zum Gebot stehenden, statistischen Materials nachgewiesen, dass der Anteil der Elektrizität an der Gesamtzahl der Brände in Deutschland 0,15 bis 0,2 Prozent, der direkte Anteil des Gases etwa 0,23 bis 0,4 Prozent und der durch Spielen mit Streichhölzern verursachte Anteil etwa 5 bis 7 Prozent ausmacht. Der direkte Anteil der Elektrizität sowohl wie auch der des Gases an den Bränden ist also ausserordentlich klein gegenüber dem durch unvorsichtiges Umgehen mit Zündhölzern. Die Gasbeleuchtung hat aber indirekt insofern einen erheblich höheren Anteil an der Gesamtzahl der Brände dadurch, dass eben bei Verwendung des Gases zu Leuchtzwecken Streichhölzer nötig sind, durch die eine ungefähr 20mal so grosse Feuersgefahr als durch das Gas selbst veranlasst wird. Nach einer von Prof. Kübler in Berlin aufgestellten Statistik (Annalen der Elektrotechnik vom Jahr 1906 in Nr. 1 pag. 59) hat trotz einer Verdoppelung des

Anschlusswertes der Elektrizitätswerke von 5 Millionen Glühlampen im Jahr 1900 auf 10 Millionen Glühlampen im Jahre 1903 die Zahl der Brandschäden pro Lampe abgenommen. Im Jahr 1900 kam in Preussen auf 20 000 Lampen nur 1 elektr. Brandschaden und im Jahr 1904 erst auf 40 000 Lampen ein Brandschaden.

Der elektrische Kurzschluss als Ursache von Brandschäden.

Fast alltäglich findet man in den Berichten der Tageszeitungen über Schadenfeuer die Schuld an deren Entstehung dem elektrischen Kurzschluss zugeschrieben. Es ist sehr bedauerlich, welcher Unfug auch heute noch fast allgemein mit der Erklärung von Bränden durch Kurzschluss getrieben wird. Immer wieder findet man nach Ausbruch eines grösseren Brandes in den Zeitungen einen Kurzschluss als Ursache vermerkt. In einer ganzen Reihe von Fällen hat sich diese Behauptung als haltlos erwiesen, auch sind Fälle bekannt, wo mit aller Bestimmtheit ein Kurzschluss als Brandursache angegeben wurde, wo entweder überhaupt keine elektr. Anlage vorhanden war, oder wo dieselbe nachweislich nicht unter Spannung stand. Es herrschen eben im grossen Kreise des Publikums noch unklare Vorstellungen über den Ursprung und das Wesen des Kurzschlusses und gerade dieser Umstand macht dann geneigt, für jeden auftretenden Brandfall ohne weiteres Nachdenken und ohne Untersuchung den Kurzschluss verantwortlich zu machen. In einer gut angelegten und sachgemäss behandelten Beleuchtungsanlage ist ein Kurzschluss jedoch eine sehr seltene Erscheinung.

Wie ich schon früher, bei Gelegenheit der Besprechung der elektr. Unfälle kurz auseinander gesetzt habe, entsteht ein Kurzschluss immer dann, wenn es dem elektr. Strome gelingt, die Vereinigung der beiden Pole eines Stromerzeugers auf einem kürzeren Wege zu erreichen, als für diesen Strom bestimmt war. (Daher der Name „Kurzschluss".) Je kleiner aber der Weg ist, den der elektr. Strom zu machen hat, um so kleiner ist auch der Widerstand und um so grösser dagegen die Stromstärke und damit auch die durch den Strom in dem elektr. Leiter erzeugte Wärme. Der elektr. Strom erzeugt nämlich, wie ich schon früher kurz hervorgehoben habe, in allen Leitern, die er durchfliesst, Wärme, die um so grösser ist, je grösser die Stromstärke und je grösser der Widerstand ist. Diese Wärme, auch Joule'sche Wärme genannt, wächst in demselben Verhält-

nis wie der Widerstand, dagegen im quadratischen Verhältnisse der Stromstärke. Doppelt so grosse Stromstärke erzeugt bei gleichem Widerstand die 4fache Wärme als die einfache Stromstärke.

Wird z. B. durch Kurzschluss die Länge des vom elektr. Strom zurückgelegten Weges auf den 10ten Teil reduziert, so wird auch der Widerstand der 10te Teil, die Stromstärke dagegen 10mal so gross und die durch den Strom erzeugte Wärme $J' = 100\ J^2 \frac{w}{10} = 10\ J^2 w$, d. h. 10mal so gross als die durch den elektrischen Strom im ursprünglichen Leiter erzeugte Wärme.

Die durch einen Kurzschluss erzeugte Wärme kann aber unter Umständen so stark werden, dass die Leitungsdrähte ins Glühen kommen und leicht entzündliche Gegenstände, die in der Nähe sind, in Brand setzen. Wir könnten den Kurzschluss sehr wohl auch als eine am unrechten Ort bis zum Erglühen, bezw. bis zum Schmelzen oder Verbrennen gesteigerte Erwärmung eines Stromleiters bezeichnen. Es wird ja wohl niemand einfallen, das Glühen einer Glühlampe oder einer Bogenlampe als Kurzschluss zu bezeichnen, denn bei diesen beiden angeführten Vorrichtungen ist ja das Glühen des Leiters eine von uns absichtlich herbeigeführte und erwünschte Erscheinung.

Sicherungen gegen Kurzschluss.

Wie schützen wir uns nun gegen solche Kurzschlüsse, d. h. gegen solche am unrechten Orte auftretende, unerwünschte und unter Umständen äusserst gefährlich werdende Erwärmungen der Leitungsdrähte? Die Sicherung gegen derartige Gefahren ist zuerst i. J. 1880 von dem bekannten amerikanischen Elektrotechniker Edison angegeben worden. Diese besteht darin, dass an allen passenden Stellen, an allen Verzweigungspunkten der Leitungen, Bleistreifen in die Leitung eingeschaltet werden, sogenannte Bleisicherungen, welche in ihrer Stärke so bemessen sind, dass sie diejenige Stromstärke gerade noch aushalten können, für welche der zu schützende Draht bestimmt ist. Sowie durch den Draht ein, etwa durch einen Kurzschluss erzeugter, stärkerer Strom fliesst, schmilzt das Bleistück ab und unterbricht dadurch den Strom. Diese Bleisicherungen werden in feuersicheren Porzellan- oder Blechgehäusen untergebracht, so dass sie für die Umgebung nicht gefährlich werden können, wenn das Gehäuse in guter Ordnung ist. Wir sehen also, dass bei einer sachgemässen Aus-

führung unserer Leitungsanlagen ein Kurzschluss nicht gefährlich ist, da ja nur die Sicherung abschmilzt und dadurch den Strom sofort unterbricht. Ist dagegen die Sicherung zu stark, d. h. hält sie einen Strom aus den das angeschlossene Leitungskabel nicht auszuhalten vermag, dann allerdings kann die Sache gefährlich werden, denn bei grösserer Stromstärke, wie ja solche immer durch einen Kurzschluss erzeugt wird, wird der Draht heiss und unter Umständen glühend und kann dann leicht entzündliche Stoffe, die sich in der Nähe befinden, in Brand versetzen.

Die Bleisicherungen, die sich in ihrer ursprünglichen primitiven Form lange Jahre hindurch erhalten haben und heute noch vereinzelt Verwendung finden, genügen jedoch den heutigen Anforderungen durchaus nicht mehr, da sie eben unter Umständen auch eine Gefahrenquelle bilden. Die alten Bleisicherungen genügten für Hausinstallationszwecke eben nur in den ersten Jahren der Elektrotechnik, in denen nur mit ganz niedrigen Leistungen zu rechnen war und 150 Volt als Hochspannung galt. Da man nichts anderes als das Erglühen der Leitungen verhindern wollte, so konnte man unbesorgt den Querschnitt des Bleistreifens recht stark wählen, zumal das Abschmelzen um so ruhiger vonstatten ging, je mehr die Schmelzstromstärke der Sicherung der Höchststromstärke der Maschine nahe kam, und zwar dann am ruhigsten, wenn letztere nur noch soeben zum Abschmelzen der Sicherung ausreichte. Vollständiges Zertrümmern der Sicherungen, mächtige Feuererscheinungen und Gefährdung ihrer Umgebuug waren so verständlicherweise unbekannt, desgleichen die zerstörende Wirkung höherer Spannungen. Neben den alten Bleistreifen und Zinnlamellen entstanden, nur aus Gründen handlicher und vor allem gefahrloser Bedienung, weniger zum Zwecke grösserer Sicherheit, bald auch gekapselte Sicherungen, wie der vielfach noch jetzt benützte Edison-Stöpsel in rundem Holzsockel.

Während, wie oben erwähnt, die Sicherungen ursprünglich nur das Glühendwerden der Leitungen zu verhindern hatten, ging das Bestreben des Verbandes Deutscher Elektrotechniker dahin, auch die teure und empfindliche Leitungsisolation gegen zu starke Erwärmung zu schützen und hiemit zugleich mittelbar schleichende Kurz- und Erdschlüsse zu verhindern, soweit solche durch allmähliche Verrottung der Isolation ent-

stehen und durch andauernde unzulässige Erwärmung sich ausbilden können. Die Isolation gegen solche Erwärmungen zu schützen, ist unbedingt erforderlich, da diese allmähliches Verschwinden der Gummiisolierung durch Verdunsten zur Folge haben. So entstanden i. J. 1896 aus den Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker aus den rohen, womöglich mehr oder weniger für alle Fälle ausreichenden Bleisicherungen die für jeden Leitungsquerschnitt fein abgestimmten Silbersicherungen, die seither für jede Leitung und für jeden Querschnitt genau passend hergestellt werden. Es ist daher unbedingt nötig, die Anlage einer elektrischen Beleuchtungsanlage nur erfahrenen Fachleuten zu übertragen und nicht jedem nächsten Besten, wie es zuweilen vorkommt.

Über die Anlage von Hausleitungen.

Um Kurzschlüsse zu vermeiden, d. h. um zu verhindern, dass der elektr. Strom einen kürzeren Weg findet als ihm vorgeschrieben ist, müssen in den Hausleitungen alle Drähte isoliert, d. h. entweder mit Gummi überzogen oder mit Seide übersponnen sein. Man hat hiebei immer peinlich zu beachten, dass diese nichtleitende Schichte, mit welcher unsere Drähte umhüllt sind, in keiner Weise verletzt wird, und dass nie der blanke Draht zu Tage tritt. Wie leicht kann es da vorkommen, dass die blanken Stellen zweier Drähte sich berühren und damit einen Kurzschluss mit seinen schlimmen Folgen hervorrufen. Man darf also niemals solche Drähte einfach an die Wand nageln oder gar mit Stecknadeln durchbohren, wie man es leider so häufig zu sehen bekommt. Jede solche ungeschützte Stelle in unserer Leitung kann den Grund zu unermesslichem Schaden legen.

> „Vor etwa zwei Jahren wollte eine Dame in Wien ein seiden umsponnenes Kabel, das zu einer Glühlampe führte, mit Hilfe einer Heftnadel an einem Wandteppich befestigen. Beim Durchstechen der Nadel erloschen alle Lampen im Zimmer. Beim Durchstechen der Nadel wurde nämlich ein Kurzschluss herbeigeführt, so dass die Bleisicherung im Hauptkabel der Wohnung durchschmolz und die Zufuhr des elektrischen Lichtes verhinderte. Dass eine solche leichtsinnige Handlungsweise auch ernstere Folgen hätte nach sich ziehen können, ist wohl klar."

Wie schon vorhin erwähnt, sind die Leitungen in unseren Wohnungen isoliert und somit im allgemeinen ungefährlich. Nun kommt es aber zuweilen vor, dass man aus Schönheitsrücksichten die Leitungen unter dem Wandverputz anbringt, so dass sie unsichtbar bleiben und die Wandfläche nicht verunstalten. Derartige, unter dem Verputz angebrachte Leitungen haben indessen schon hie und da Anlass zu elektr. Unfällen gegeben.

„Als im Jahre 1905 der mexikanische Gesandte Don J. Zeuil in Wien starb, wollte man das Trauergemach dekorieren. Als man die Nägel in die Wand einschlug, traf einer davon die Zuleitungsdrähte, was Kurzschluss und einen Brand im Zimmer verursachte, der glücklicherweise bald gelöscht werden konnte."

Ein anderes, hierher gehöriges Beispiel möchte ich auch noch erwähnen:

„Im vergangenen Jahr war in den Tageszeitungen zu lesen, dass in Berlin sich ein elektrisierter Briefkasten befinde. Leute, die Briefe einwerfen wollten und dadurch den Briefkasten berührten, bekamen mehr oder weniger heftige elektrische Schläge. Die nähere Untersuchung ergab, dass der Nagel, mit dem der Briefkasten an der Wand befestigt wurde, mit einem in der Wand liegenden Starkstromkabel in Berührung gekommen war, so dass dann ein Teil des elektr. Stromes durch diesen Nagel auf den Briefkasten überging. Berührte also jemand, zum Zwecke des Briefeinwerfens, den Kasten, so ging der elektr. Strom vom Briefkasten zu der Person in den Erdboden über, wodurch die betr. Person mehr oder weniger heftige elektr. Schläge zu spüren bekam."

Diese wenigen Beispiele lehren uns also, dass es nicht ratsam ist, die Stromleitungsdrähte unter dem Wandverputz anzubringen. Wenn es sich auch aus Schönheitsrücksichten besser ausnehmen mag, diese Drähte unter dem Verputz anzubringen, so erfordert es doch die Sicherheit, dass diese Drähte ausserhalb des Verputzes sich befinden und immer sichtbar sind.

Haben wir Drähte mit Seidenüberspinnung, so müssen sie peinlich trocken gehalten werden, denn werden sie feucht oder nass, — wie dies z. B. bei einem Feuerlöschgeschäft vorkommen kann — so ist es mit der Isolierung vorbei und wenn dann

solche nasse Drähte einen leitenden Gegenstand berühren, kann wieder ein Kurzschluss mit allen seinen gefährlichen Erscheinungen entstehen.

Beispiele:

1) Am 17. Februar 1897 brach in der Schwantaler-Passage in München im Dachraum ein Brand aus. Bei den in diesem Dachraume an den Holzverschlägen und Sparren befestigten und mit Kautschuk isolierten Leitungsdrähten schmolz nun infolge der Hitze der Kautschuk ab und als nun beim Löschgeschäft die Dachverschalungen und Sparren stark durchnässt wurden, leiteten dieselben den elektr. Strom von den nicht mehr isolierten Drähten ab und einige Feuerwehrleute erhielten beim ahnungslosen Berühren der Dachbalken sehr starke elektr. Schläge.

2) In Omaha (Nordamerika) kamen vier Feuerwehrleute auf ganz gleiche Weise viel schlimmer weg. In der Nacht vom 9. auf den 10. August 1899 war in einem grossen Logierhause ein Brand ausgebrochen, wobei im Dachraume auch die Sparren und Pfosten stark durchnässt wurden. Die Isolierung der dort befindlichen Lichtleitung war abgeschmolzen und der Strom auf die nassen Hölzer übergegangen. Zwei Feuerwehrleute, die mit diesen nassen Hölzern in Berührung kamen, wurden sofort getötet, während zwei andere tötliche Verletzungen erhielten.

Aus diesen wenigen Beispielen geht hervor, dass bei dem Löschgeschäfte, ohne dass man es auch nur ahnt, bedeutende Gefahren durch Erregung eines Kurzschlusses für die Löschenden entstehen können. Aber es ist auch möglich, dass ein durch das Schadenfeuer stark erhitzer Draht durch Begiessen mit kaltem Wasser plötzlich abreisst und dann grosses Unheil anzurichten vermag.

Beispiel:

Als in Brooklyn bei New-York am 9. März 1898 im Metropolitan-Hôtel ein Brand entstand, der rechtzeitig bemerkt wurde, eilte der Besitzer, Louis Dietz, in den brennenden Dachraum und goss einen ihm gereichten Kübel Wasser in die Flammen, traf aber dabei auch die elektr. Leitung der Lichtanlage. Sofort riss der Leitungsdraht, traf den Besitzer Dietz auf Kopf und Nacken

und dieser stürzte, ohne einen Laut von sich zu geben, augenblicklich tot zu Boden.

Übrigens sind es nicht immer Kurzschlüsse, die bei sog. elektrischen Bränden die Ursache des Brandes sind. Es können auch bei elektr. Beleuchtungsanlagen auf ganz andere Weise Brände verursacht werden. Es kann z. B. vorkommen, dass bei einer Bogenlampe ein Stückchen der glühenden Kohlen abspringt und, wenn die umhüllende Glasglocke nicht in Ordnung ist, auf etwa unter der Lampe lagernde brennbare Stoffe fällt und diese entzündet. Man hat daher darauf zu achten, dass sämtliche Bogenlampenglocken mit dicht schliessenden Aschentellern versehen sind. So berichtet z. B. die Elektrotechn. Zeitschrift, Heft 7, vom 18. Februar 1909 folgenden Fall einer durch eine Bogenlampe verursachten Aluminiumstaub-Explosion:

Andere Ursachen elektr. Brände als durch Kurzschluss.

„In einer Metallpapierfabrik zu Fürth i. B. ereignete sich der Fall, dass es übersehen wurde, die untere Kohle der zu Beleuchtungszwecken dienenden Bogenlampe (Liliputlampe) auszuwechseln und so ergriff der Lichtbogen den unteren Kohlenhalter. Infolge der strahlenden Hitze oder durch abtropfendes Metall ist darauf die Glasglocke gesprungen, worauf durch die herausgefallene obere Kohle das explosive Gemenge von Aluminiumstaub und Luft, — das bekanntlich viel gefährlicher ist, als andere Staubluftgemenge, z. B. Gemenge mit Kohlenstaub oder Mehl — mit glühenden Teilen in Berührung kam und eine ungemein heftige Explosion entstand. Die Folgen dieser Explosion waren zwei Tote und mehrere Verwundete, sowie ein grosser Materialschaden."

Aber auch Glühlampen können bei Unachtsamkeit zu Brandstiftern werden. Der Faden in der Lampe strahlt seine Wärme an die Umgebung aus. Diese Ausstrahlung ist aber so gering, dass man schon in geringer Entfernung nicht mehr viel davon merkt. Anders ist es dagegen, wenn die Wärme des Fadens an der Ausstrahlung gehindert und zusammengehalten wird. Es tritt dadurch bald eine derartige Temperatursteigerung ein, dass entzündliche Gegenstände Feuer fangen können. Wie oft sieht man zu Dekorationszwecken Glühlampen mit farbigen Stoffen umhüllt! Hier wird die Wärme des Kohlenfadens gleichsam aufgespeichert, nach kurzer Zeit beginnt die Umhüllung zu

glimmen und bald ist es so weit, dass man die Feuerwehr herbeirufen muss. Fragt man dann: „Wer ist der Brandstifter?", so wird die prompte Antwort erfolgen: „Kurzschluss." Und in den meisten Fällen spricht auch der Augenschein dafür, denn bei einem Feuer werden natürlich auch die Leitungsdrähte zerstört und es bedarf nur einer Vertauschung von Ursache und Wirkung, um die ganze unangenehme Sache auf den Kurzschluss abzuwälzen.

Aus diesen Ausführungen dürfte ersichtlich sein, dass meine früher aufgestellte Behauptung: „mit der Erklärung des Kurzschlusses als Brandursache werde vielfach Unfug getrieben", vollauf berechtigt war.

Obwohl die Furcht vor Kurzschluss vielfach übertrieben wird, so ist sie doch durchaus nicht unberechtigt; grosse Vorsicht in dieser Beziehung kann durchaus nicht schaden, sondern sehr am Platze sein.

Gefahren der Träger von Telephonleitungen.

Eine weitere Gefahr durch elektrische Anlagen beruht in den auf nur zu vielen Häusern befindlichen Trägern von Telephonleitungen. An und für sich haben diese Träger, welche aus Schmiedeisen hergestellt sind, ein sehr bedeutendes Gewicht, welches aber noch erhöht wird durch die auf ihm ruhenden, oft sehr zahlreichen Drähte. Um dem Durchdrücken des Daches durch solche Träger zu begegnen, werden in den Speicherräumen unter ihnen Stützen und Versteifungen angebracht. Bricht nun im Dachraume eines Hauses, welches von einem solchen Eisengerüste verunziert ist, Feuer aus, so ist eine hohe Gefahr des Absturzes eines derartigen Ständers und Durchschlagen desselben durch das obere Stockwerk vorhanden. Aber auch die aufliegenden Drähte erfahren durch den Brand leicht einseitige Erhitzung, dehnen sich aus oder schmelzen gar ab, während auf der anderen Seite der Zug der Drähte unvermindert andauert, was besonders bei strenger Winterkälte gerne eintritt. Es können hiedurch die Drähte abgeschnellt werden und hängen dann, alles ringsum behindernd, herab; es kann aber auch der ganze Ständer umgerissen werden und abstürzen — was alles sehr bedenkliche Gefahren nach sich ziehen kann. Es können aber ausserdem auch noch abgeschnellte Drähte unten auf Hochspannungsleitungen zu lagern kommen, wodurch dann alle die Übelstände eintreten können, die ich schon früher erwähnt habe. In solchen Fällen muss die Feuerwehr mit ganz besonderer Vor-

sicht zu Werke gehen. Vor allem muss der Brandplatz im weitesten Umkreise abgesperrt werden und zwar nicht bloss deshalb, um das schaulustige Publikum vor Gefahr zu bewahren, sondern auch vor allem darum, um den arbeitenden Feuerwehrleuten unbehindert Raum zu erhalten, bei eintretender Katastrophe sich noch retten zu können. Ausserdem ist mit aller erdenklicher Mühe dafür zu sorgen und alles daran zu setzen, dass die Unterstützungen solcher Träger unverletzt oder doch so tragfähig erhalten bleiben, dass ein Einstürzen des Daches und des Trägers nicht eintritt. Tritt wirklich ein Absturz ein, so muss es das erste Geschäft sein, die Drähte so hoch als möglich abzuschneiden, dass sie nachher nicht hinderlich sind. Liegen solche Telephondrähte nicht auf Hochspannungsleitungen auf, sondern sind sie frei, so ist dieses Geschäft ganz gefahrlos, weil mit dem Abreissen des Drahtes jeder allenfalls in den Draht fliessende elektr. Strom augenblicklich aufhört und solche Telephonströme überhaupt nur ganz minimale Spannungen haben. Auch empfiehlt es sich nicht, bei einem Brande solche Drähte anzuspritzen, da, wie schon bei einem früheren Beispiele erwähnt wurde, die Gefahr sehr nahe liegt, dass solche angespritzte und durch den Brand einseitig erhitzte Drähte leicht abschnellen und damit für die Umgebung sehr gefahrvoll werden können.

Schutz vor elektrischen Unfällen.

Wie aber schützen wir uns, vor allem die Arbeiter und auch die kostbaren elektrischen Maschinen vor den verderblichen Wirkungen eines etwaigen Blitzschlages, besonders bei Fernleitungen, die sich oft auf viele Kilometer erstrecken und oft Spannungen bis zu 10000 Volt führen? Ein solcher Blitzschlag braucht ja nur kurz erwähnt zu werden, um sofort ermessen zu können, welche schlimmen Folgen derselbe in jeder Hinsicht, falls keine Sicherheitsvorkehrungen vorhanden wären, nach sich ziehen könnte. Abgesehen von den Gefahren für den Menschen, würden jedenfalls die Maschinen und die mit ihnen in Verbindung stehenden electr. Apparate vollständig zerstört werden.

Die Blitzgefahr

Die Frage, wie wir uns und unsere Gebäude am besten vor der Blitzgefahr schützen können, ist um so wichtiger geworden, als die Blitzgefahr sich in Deutschland seit dem Jahr 1850 merkwürdiger- und bis jetzt unaufgeklärter Weise auf mehr als das Dreifache erhöht hat. Die Versuche, dies der zunehmenden Entwaldung und dem gesteigerten Verbrauche von Eisen in

Form von Trägern, Gas- und Wasserleitungen zuzuschreiben, haben sich nicht als stichhaltig erwiesen, da die Zunahme sich auch in Gegenden herausgestellt hat, wo aufgeforstet wurde und auch bei Ausschluss aller grössere Eisenmassen enthaltenden Gebäude. In Frankreich wurden in den Jahren 1835—1863 im ganzen 6714 Menschen vom Blitze getroffen und davon 2238 getötet. In Preussen wurden 1869—1862 im ganzen 369 Menschen erschlagen. Es verlohnt sich also wohl zu erfahren, was man zu tun hat, um sich so gut wie möglich gegen die Blitzgefahr zu schützen.

Schutz vor der Blitzgefahr.

Was zunächst die Menschen selbst betrifft, so wurden die meisten im Freien unter Bäumen erschlagen, unter die sie sich vor dem Regen geflüchtet hatten. Dabei verhalten sich die Baumarten sehr verschieden. Weitaus am häufigsten werden die Eichen getroffen, am seltensten die Buchen, deren öliges Holz die Elektrizität am schlechtesten zu leiten scheint. Man vermeide es daher unbedingt, sich unter einzeln stehenden Bäumen während eines Gewitters aufzuhalten. Viel weniger gefährlich erscheint der Aufenthalt mitten im dichten Walde unter Bäumen, die an Höhe andere nicht überragen. Ebenso ist der Aufenthalt auf isolierten Höhepunkten gefährlich. Aber auch in ausgedehnten Ebenen bildet die menschliche Gestalt eine hervorragende Spitze, die um so leichter vom Blitze getroffen wird, wenn der Untergrund feucht ist und dem Grundwasserspiegel nahe steht. In solchen Fällen wäre es am angezeigtesten, sich flach auf die Erde zu legen. Trockener Felsgrund dagegen verringert die Blitzgefahr. Verweilen auf und nahe an Eisenbahnschienen, metallenen Wasserleitungen ist gefährlich, dagegen ist man im Eisenbahnwaggon ganz sicher, da man von gut abgeleiteten Metallmassen umgeben ist. Es wird behauptet, dass Laufen die Gefahr steigere, weil der Blitz dem Luftzuge folge. Es ist zwar richtig, dass man den elektr. Lichtbogen durch starkes Anblasen zur Seite drängen und auslöschen kann; dennoch ist kaum anzunehmen, dass die geringe Luftbewegung, die ein laufender Mensch erzeugt, von einem merklichen Einfluss sei. Von einem seidenen Schirme Schutz zu erwarten, ist ebenso unsinnig, wie wenn sich ein Soldat durch einen Regenschirm gegen eine Kugel sichern wollte. Der Aufenthalt in Gebäuden gewährt im allgemeinen besseren Schutz als das Verweilen im Freien; doch kommen auch hier eine Anzahl Umstände in Be-

tracht. Ist das Haus durch einen guten Blitzableiter geschützt, so schützt es auch die Menschen, die sich darin aufhalten. Ist ein solcher Blitzableiter nicht vorhanden, so sind die oberen Stockwerke mehr gefährdet als die unteren, und der Keller ist der sicherste Raum. Der Aufenthalt nahe am Fenster ist weniger ratsam, doch wird es kaum einen Unterschied machen, ob die Fenster geschlossen oder offen sind. Am gefährdetsten sind diejenigen Häuser ohne Blitzableiter, in welche eiserne Wasser- oder Gasleitungen eingeleitet und in die Höhe geführt sind, sowie solche, die grosse Metallmassen enthalten, wie z. B. Glockentürme. Man vermeide in den Wohnräumen den Aufenthalt neben Metallleitungen, insbesondere auch den unter metallenen Kandelabern. Es sind mehrere Fälle bekannt, wo Personen erschlagen wurden, die unter einer Hängelampe sassen. Auch der Aufenthalt in der Nähe des Kamins oder des Herdes ist nicht ratsam, insbesondere so lange das Feuer brennt, denn es ist erwiesen, dass Rauchsäulen die Elektrizität leiten und Flammenspitzen sie anziehen.

Blitzableiter.

Den besten Schutz gewährt unter allen Umständen ein gut ausgeführter Blitzableiter. Hinsichtlich der Blitzableiter möchte ich nur kurz darauf hinweisen, dass jeder Blitzableiter aus drei Teilen besteht: der Auffangstange mit Spitze, der Ableitung bis zur Erde und der Erdleitung.

Die Auffangstange muss so hoch sein, dass sie alle übrigen Teile des Gebäudes überragt, und dass eine Linie, die man von der Spitze unter einer Neigung von $25^0 - 30^0$ zur Erde zieht, überall über das Dach und dessen Vorsprünge hinweggeht. Bei besonders gefährdeten Gebäuden, Pulvermagazinen u. s. w. soll dieser Winkel bis 55^0 betragen. Bei langgestreckten Dächern oder umfangreichen Gebäuden werden mehrere Auffangstangen angebracht. Die Stange soll zugespitzt sein. Man pflegt sie zu vergolden, damit die Spitze nicht rostet. Dies ist jedoch weniger wichtig. Die Stange muss aber stark genug im Querschnitt sein, damit sie nicht vom Blitze geschmolzen wird. Man gibt ihr gewöhnlich $2^1/_2$ bis 3 Zentimeter Durchmesser. Auch muss sie gut befestigt sein.

Die Ableitung muss eine ununterbrochene, metallische und von genügendem Querschnitte sein. Sie wird aus Eisen oder Kupfer hergestellt. Ist sie von Kupfer, so genügt ein Durchmesser von 5 — 7 Millimeter, ist sie von Eisen, so muss ihr Quer-

schnitt mindestens 5mal so gross sein, weil das Eisen schlechter leitet. Eisen besitzt den Vorzug, dass es einen höheren Schmelzpunkt hat und billiger ist, Kupfer den anderen, dass es nicht rostet und sich leichter und bequemer anbringen lässt. Die Anschlussstellen müssen gut verschraubt oder vernietet und nicht bloss verlötet sein. Alle grösseren Metallmassen müssen mit der Ableitung in leitende Verbindung gebracht sein, da sonst Nebenentladungen eintreten können.

Die Erdleitung ist besonders wichtig; gerade in diesem Punkte sind viele Blitzableiter ungenügend und deshalb nicht bloss nutzlos, sondern geradezu schädlich. Wenn immer möglich, sollte die Erdleitung, die des Rostens wegen aus Kupfer sein soll, mit den metallenen Wasser- und Gasleitungen in Verbindung gebracht werden. Die Erdleitung soll zu einer Kupferplatte von 1 Quadratmeter Oberfläche oder besser noch zu einem aus Kupferstreifen zusammengenieteten Rechen führen, der bis ins Grundwasser oder doch bis ins feuchte Erdreich versenkt wird. Angestellte Messungen haben ergeben, dass bei gleichem Verbrauch an Kupferblech die Rechenform $2^1/_2$ mal so wirksam wie eine Platte ist. Wo immer möglich, führe man die Erdleitung bis zu einem nahen Gewässer. Der Widerstand von der Spitze bis zur Erde soll 10 Ohm nicht übersteigen. Die gute Verbindung der Ableitung mit der Erdleitung ist zeitweilig zu prüfen. Bei grösseren Gebäuden werden mehrere Ableitungen und Erdleitungen an gegenüberliegenden Punkten angebracht. Es ist dann sehr zweckmässig, die Erdleitungen mit einander durch ein Kupferkabel zu verbinden. Ein regelrecht ausgeführter Blitzableiter schützt ein Haus und dessen Bewohner mit voller Sicherheit.

Blitzschutzvorrichtungen in Freileitungen.

Eine in neuerer Zeit wenig mehr im Gebrauch befindliche Art von Blitzschutzvorrichtungen in Freileitungen besteht darin, dass man in der Nähe der Freileitungen eine ganz kurze Strecke parallel mit ihnen Leitungen verlegt, die mit dem Grundwasser der Erde in Verbindung stehen. Wie ja schon erwähnt, sucht sich bekanntlich der Blitz, wenn er einen leitenden Gegenstand gefunden hat, den nächsten Weg zur Erde, wobei er kleinere isolierte Strecken ohne weiteres überspringt. Wenn nun der Blitz in die ursprüngliche Leitung gefahren ist, springt er sofort über den isolierenden Luftzwischenraum zu dem Erdleiter über. Dabei entsteht aber ein elektrischer Funke,

der bestehen bleibt, wenn er nicht gelöscht wird. Zum Löschen des Funkens wird vor der Funkenstrecke ein Elektromagnet angebracht, dessen entstehende Kraftlinien die Eigenschaft entwickeln, den Funken abzustossen oder auszublasen, weshalb man ihn auch Blasmagneten nennt.

Diese Löschung des elektr. Funkens ist deshalb erforderlich, weil der Funken ein guter Leiter der Elektrizität ist und somit alle Elektrizität aus der Leitung zur Erde ableiten würde.

Hörner-Blitzableiter.

Das beste und einfachste Mittel, elektrische Leitungen und die mit ihnen verbundenen Maschinen und Apparate gegen die Wirkung von Blitzschlägen oder gegen sonst auftretende Überspannungen (etwa durch Kurzschluss hervorgerufen) zu schützen, sind die Hörner-Blitzableiter von Siemens & Halske, jetzt Siemens-Schuckert Werke in Berlin. Ein solcher Hörner-Blitzableiter besteht aus zwei gebogenen Kupferstäben, die unten einen kleinen Abstand haben, der sich nach oben immer mehr erweitert. Um die Wirkungsweise eines solchen Hörner-Blitzableiters zu verstehen, weise ich zunächst darauf hin, dass bei sehr raschen elektrischen Bewegungen — und den Blitz können resp. müssen wir als eine äusserst rasche elektr. Bewegung betrachten — nicht der gewöhnliche Widerstand es ist, welcher den Stromdurchgang erschwert, sondern die Selbstinduktion. Eine kleine Luftstrecke von einigen Millimetern, etwa zwischen zwei Metallplatten, lässt die Blitzentladung leicht hindurchgehen, obwohl der Widerstand der Luft enorm ist, während ein paar Meter Kupferdraht, namentlich, wenn er spiralförmig aufgerollt ist, dem Blitz einen viel schwereren Weg bieten. Dadurch ist es nun möglich, einen Blitz, der in eine Leitung geschlagen hat, unschädlich zu machen. Man schaltet nämlich an der Leitung, die zur Maschine führt, mittels eines kurzen gewundenen Drahtes das eine Horn eines solchen Hörner-Blitzableiters ein, während das andere Horn durch einen Draht mit der Erde in Verbindung steht, am besten mit einer in der Erde vergrabenen Metallplatte. Der Abstand der Drähte, die den Hörner-Blitzableiter bilden, muss natürlich so bemessen sein, dass der eigentliche Maschinenstrom nicht durch die Luftschicht gehen kann; der Abstand muss also grösser sein als die Schlagweite, welche zu der vorhandenen Maschinenspannung gehört. Schlägt nun der Blitz in die Leitung ein, so stellen die paar Windungen der Kupferspule, bezw. der in derselben er-

zeugte Selbstinduktionsstrom, dem Blitz einen grösseren Widerstand entgegen als die Luftstrecke des Hörner-Blitzableiters und daher saust er lieber über diese zur Erde. Sowie aber eine Blitzentladung über diesen Luftweg eintritt, bilden sich infolge der durch den grösseren Widerstand erzeugten grossen Hitze Metalldämpfe, die Luft selbst wird dann leitend und auf dieser leitenden Brücke stürzt sofort Elektrizität nach. Es bildet sich ein Kurzschluss mit einem mächtigen Flammenbogen. Die erhitzten Dämpfe werden durch die nach oben dringende erwärmte Luft nach aufwärts getrieben, der Lichtbogen wandert dann den Hörnern entlang nach oben, bis der Abstand so gross geworden ist, dass die Maschinenspannung ihn nicht mehr überwinden kann. Dadurch verlöscht er ganz von selbst und die betr. Maschine und etwaige mit ihr in Zusammenhang stehende elektr. Apparate und das Bedienungspersonal sind dadurch vor dem Blitzschlag geschützt. Ein derartiger Kurzschluss verläuft äusserst rasch und störungslos; in kürzer wie 2 Sekunden ist meistens der Lichtbogen verschwunden.

Elektrische Fernleitungen werden in gewissen Abständen mit solchen Hörner-Blitzableitern versehen, auch elektr. Motoren und vor allem Transformatoren werden durch solche Hörner-Blitzableiter geschützt. Auch bei elektr. Strassenbahnen sind sie fast durchweg in Verwendung, um die verheerende Wirkung des Blitzes beim Motorwagen selbt, bei den Maschinen und Leitungen, etwaige empfindliche Betriebsstörungen und vor allem um die Gefährdung von Menschenleben zu verhindern.

Die Hörner-Blitzableiter müssen aus praktischen Gründen auf eine Schlagweite von mindestens 3 mm eingestellt werden, weil anderenfalls die Gefahr vorliegt, dass durch Staubteilchen, Insekten u. dergl. die Funkenstrecke überbrückt wird und der Apparat schon bei normaler Betriebsspannung anspricht.

Eine Schlagweite von 3 mm wird aber erst bei einer Spannung von etwa 8000 Volt überschlagen. Für viele Anlagen wird man einen wesentlich empfindlicheren Schutz der Leitungen, Maschinen und Apparate verlangen müssen. Solchen Schutz bietet der Relais-Hörner-Blitzableiter der Siemens-Schuckert Werke. Bei seiner Konstruktion ging man von dem Gedanken aus, die an sich bewährte Anordnung des Hörner-Blitzableiters beizubehalten, aber durch eine besondere Vorrichtung dafür Sorge zu tragen, dass zwischen den auf 3 bis 4 mm Schlagweite

Relais-Hörner-Blitzableiter.

eingestellten Hörnern schon bei wesentlich geringeren Spannungen als 8000 Volt eine sichere Entladung erfolgt, mit anderen Worten: es musste die Empfindlichkeit des normalen Hörner-Blitzableiters gesteigert werden. Um dies zu erreichen, wird mit einfachen Hörner-Blitzableitern eine Vorrichtung verbunden, die im Netz auftretende Überspannungen an den Hörnern soweit vergrössert, dass sie hinreichen, um die zwischen den Hörnern befindliche Luftstrecke sicher zu durchschlagen. Über die so hergestellte Brücke entladet sich die in der Leitung aufgetretene Überspannung oder Verzögerung. Hierbei ist Vorsorge getroffen, dass die künstlich verstärkte Überspannung nicht in das Netz übertreten und dort Schaden stiften kann. Diese Hilfsanordnung, die auf die entstehenden Überspannungen zunächst anspricht, ohne sie abzuführen, aber ihnen in dem weiter eingestellten Blitzableiter einen Weg schafft, lässt sich mit einem gewöhnlichen Relais vergleichen, das auf einen kleinen Strom reagiert und den Kontakt für den grösseren Strom der Ortsbatterie schliesst. Aus diesem Grunde ist auch für die Vorrichtung die Bezeichnung „Blitzableiter-Relais“ gewählt worden.

Die Wirkungsweise der Relais beruht auf dem passenden Gebrauch eines gesonderten Schwingungskreises. Der Schwingungskreis befindet sich zwischen den Ausgleichsstellen der Überspannungen, also in der Regel zwischen Leitung und Erde in Hintereinanderschaltung mit dem Vorschaltwiderstand des Blitzableiters und setzt sich aus zwei parallelen Zweigen zusammen. Von diesen enthält der eine Zweig eine Hilfsfunkenstrecke und einen Kondensator, der andere ebenfalls einen Kondensator und die Primärwicklung eines kleinen Tesla-Transformators, d. h. eines aus wenigen Windungen bestehenden eisenfreien Transformators. Die Sekundärspule des Transformators ist mit dem Blitzableiter selbst hintereinandergeschaltet.

Das Relais ist an einem senkrecht zu montierenden Schmiedeisenwinkel angebracht. Dieser trägt auf einer Traverse die an Isolatoren befestigten Hörner des eigentlichen Blitzableiters. Der Winkel trägt ferner eine starkwandige Porzellanröhre, in deren Innern die Sekundärwicklung des Tesla-Transformators, die aus 20 Windungen besteht, untergebracht ist. Die nur aus einer Windung bestehende Primärwicklung umgibt das Rohr aussen. Beide Kondensatoren des Schwingungskreises sind mechanisch durch Blechbüchsen geschützt, die gleichzeitig einen der Pole

bilden. Der andere Pol ist von der Büchse durch eine Ausführungsklemme isoliert.

Zwischen den beiden Ausführungsklemmen befindet sich die in einer Glasröhre eingeschlossene Hilfsfunkenstrecke. Ihre Elektroden bestehen aus Messingstiften mit Platinkuppen. Sie werden in der Fabrik mit Rücksicht auf Betriebsspannung, Stromsystem und Schaltungsweise der Blitzableiter genau eingestellt und festgelötet, um eine willkürliche Verstellung zu verhindern. Die Empfindlichkeit lässt sich lediglich durch die Hilfsfunkenstrecke einstellen. Bei der Montage der Hörner-Blitzableiter sowohl, wie auch der Relais-Hörner-Blitzableiter ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Blitzableiter einen sich nach oben entwickelnden Lichtbogen erzeugen, der bei höheren Spannungen und grossen Leistungen bedeutende Dimensionen annehmen kann. Es dürfen also über dem Blitzableiter weder Leitungen noch brennbare Gegenstände angeordnet sein. Befinden sich oberhalb der Blitzableiter Eisenkonstruktionen, so sind diese noch besonders zu schützen, z. B. durch Asbestplatten, Tonplatten oder dergl. Nach obenhin soll bei den Hochspannungs-Blitzableitern ein Raum von mindestens dem anderthalbfachen der Entfernung der oberen Hornenden frei bleiben, der seitliche Abstand vom Blitzableiter muss mindestens gleich der Entfernung der oberen Hornenden sein. Bei Aufstellung der Blitzableiter im Freien, die man jedoch möglichst vermeiden soll, ist der seitliche Abstand von den Hörnern besonders reichlich zu bemessen. Sind mehrere Blitzableiter nebeneinander anzubringen, wie z. B. bei Drehstromanlagen, so sind sie durch feuersichere, isolierende Zwischenwände zu trennen.

Bei den oben beschriebenen Hörner-Blitzableitern kommt es leider häufig vor, dass bei kurz hintereinander stattfindenden Entladungen eine Erhitzung der Elektroden eintritt, welche leicht zu einer Schmelzung letzterer führen kann, durch welche die Länge der Funkenstrecke verändert wird, so dass dann die Funkenstrecke nicht mehr bei derjenigen Spannung anspricht, für welche sie ursprünglich eingestellt war. Falls durch dieses Schmelzen der Elektroden die Funkenstrecke vergrössert worden ist, so wird die Spannung im Netz höher steigen als auf diejenige Spannung, für welche die ursprüngliche Einstellung der Funkenstrecke bemessen war und wird die Anlage gefährden. Im anderen Falle, d. h. bei einer Verkürzung der Funkenstrecke,

wird ein dauerndes Arbeiten derselben mit der Betriebsspannung der Anlage stattfinden. Diese Übelstände werden durch die Überspannungssicherungen mit Ableitern aus grossen Abkühlungsflächen beseitigt, eine Erfindung, welche den Land- und Seekabelwerken, Akt.-Ges., Cöln-Nippes, durch D. R. P. Nr. 199 645 geschützt ist. Die Elektroden sind hier kastenförmig und aus Kupferblech oder dünnem Guss hergestellt. Jede Elektrode hat 2 Seitenplatten, deren jede wiederum 2 Abkühlungsflächen besitzt, so dass also an jeder Elektrode 4 Abkühlungsflächen vorhanden sind, welche die Wärme an die umgebende Luft abgeben. Durch diese kastenförmige Ausbildung der Elektroden wird der Vorteil erreicht, dass ein lebhafter Luftwechsel in dem durch die beiden Wände gebildeten Hohlraume und eine vergrösserte Abgabe der Wärme an die Luft eintritt. Zugleich mit diesen Eigenschaften verbindet diese Konstruktion noch den Vorteil grosser Leichtigkeit bei sehr grosser Stabilität. In die Erdableitung der Funkenstrecken wird zur Einschränkung der auftretenden Stromstärke ein hoher Widerstand eingeschaltet, der im Gegensatz zu anderen Konstruktionen mit einer festen Isoliermasse von hoher Schmelzwärme gefüllt ist. Diese Widerstände sind so eingerichtet, dass die Blitzschutzvorrichtung auch unmittelbar darauf montiert werden kann. Für denselben Zweck baut die oben erwähnte Firma auch Wasserwiderstände. Wenn es sich um den Schutz von Freileitungen handelt, so müssen zu der Schutzvorrichtung die Blitzhörner parallel geschaltet werden. Zwischen diesen Blitzhörnern und der Überspannungssicherung werden dann Drosselspulen eingebaut. In diesem Falle verhindern die Überspannungssicherungen gleichzeitig die ohne diese bei Gewittern fortwährend eintretende betriebsstörende Auslösung der Blitzableiter, welche durch Influenzierung der Leitungen infolge entfernter Blitzschläge hervorgerufen wird, indem sie die dabei auftretenden Überspannungen zur Erde ableiten. Infolge des hohen Widerstandes, welchen die schnellen Eigenschwingungen der Freileitung mit der Selbstinduktion der Drosselspulen bilden, erzeugen letztere zugleich ein Spannungsmaximum an den Blitzableitern und erleichtern dadurch die Abführung der atmosphärischen Elektrizität.

Überspannungssicherungen mit Ableitern aus grossen Abkühlungsflächen.

Zum Schluss meiner Betrachtungen möchte ich noch eine Frage behandeln, die schon sehr oft aufgeworfen und auf der einen Seite mit einem entschiedenen „Ja“ beantwortet, auf der

Die Elektrizität und die Feuerwehr.

anderen Seite dagegen mit einem abfälligen Lächeln verneint wurde, nämlich die Frage: „Ist es bei einem ausgebrochenen Brande für den Rohrführer gefährlich, einen Hochspannungs-Leitungsdraht mit seinem Wasserstrahl zu treffen?"

Die Ansichten gehen hier, wie gesagt, sehr auseinander, aber es liegen doch so viele Beispiele vor, dass hier entschieden vor dem Bespritzen eines unter Strom befindlichen Leitungsdrahtes gewarnt werden muss.

Bei Gelegenheit der 14. Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker in Stuttgart, am 26. Mai 1906, wies Branddirektor Freih. v. Moltke aus Kiel in einem Vortrage über „Die Feuerwehr und die Elektrizität" unter anderem darauf hin, dass ihm von der Branddirektion bei Krupp in Essen mitgeteilt worden sei, dass in Essen bei einem Brande der Führer des Strahlrohres durch das Bespritzen elektrischer Starkstromleitungen verletzt worden und dass bei dem Brande eines Warenhauses im Jahr 1905 ein Feuerwehrmann, der das Feuerlöschrohr bediente, plötzlich tot zusammengesunken sei. Er hatte einen elektrischen Schlag erhalten, weil der gespritzte Wasserstrahl eine Starkstromleitung getroffen hatte.

Bei der an diesen Vortrag sich anschliessenden Diskussion erwähnte unter anderem Prof. Dr. Budde, dass er hinsichtlich des Anspritzens von Leitungen persönliche Mitteilungen machen könne. Vor 10 Jahren habe er bei Inbetriebsetzung einer Drehstrom-Dynamo-Maschine diese auf einen provisorischen Widerstand arbeiten lassen und als der Widerstand sehr warm zu werden anfing, sei er genötigt gewesen, das Wasser zu erneuern. Zu diesem Zwecke habe er einfach in das Gefäss hineingespritzt und dabei habe er einen derartigen Schlag bekommen, dass ihm das Mundstück aus der Hand gefallen sei. Auch Ingenieur Kuhlmann berichtet über einen Fall, wo ein Arbeiter einen brennenden Transformator für etwa 3000 Volt zu löschen versuchte, dabei aber einen solchen starken Schlag erhielt, dass er das Löschungsgeschäft schleunigst aufgab.

Die Gefahr des Bespritzens hochgespannter Leitungen liegt darin, dass durch den Wasserstrahl ein elektrischer Strom abgeleitet wird auf das Strahlrohr und den dasselbe führenden Feuerwehrmann. Nun wurde — und zwar hauptsächlich von den auf ihr Geschäft ängstlichen Elektrizitätswerken und deren

Agenten — behauptet, es sei durch eingehende Experimente die gänzliche Gefahrlosigkeit des Bespritzens der unter Strom befindlichen Leitungen erwiesen, da ja das Wasser gar nicht die Fähigkeit besitze, einen, auch hochgespannten, Strom auf den Rohrführer zu übertragen. Nun ist ja allerdings chemisch reines Wasser kein elektrischer Leiter; aber eben nur chemisch reines. Welches von unseren Trinkwassern und Löschwassern ist denn aber chemisch rein? Jedes derartige Wasser hat irgend eine Beimengung von Salzen oder sonst von Organismen und wenn dies der Fall ist, dann leitet das Wasser den elektr. Strom sehr gut. Im Jahre 1898 hat die Berliner Feuerwehr unter ihrem Branddirektor Giersberg in Gemeinschaft mit der Elektrizitätsfirma Siemens & Halske und unter Zuhilfenahme sehr genauer Instrumente Versuche angestellt, aus welchen klar hervorgeht, dass das Bespritzen von Hochspannungsleitungen wirklich mit Gefahr für den Rohrführer verbunden ist.

In neuerer Zeit sind diese Versuche wiederholt worden, so unter anderem von Branddirektor Freih. v. Moltke in Kiel in Gemeinschaft mit dem Direktor des Kieler Elektrizitätswerkes, dem Oberingenieur Bohnenberger in Kiel. Über das Ergebnis dieser Versuche hat Freih. v. Moltke in seinem schon erwähnten Vortrag „Über Feuerwehr und Elektrizität" bei Gelegenheit der 14. Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker am 26. Mai 1906 in Stuttgart ausführlich Bericht erstattet.

Bohnenberger und Moltke benützten bei ihren Versuchen einen blanken Draht von 25 qmm Querschnitt, der mit einem Ende an eine spannungführende isolierte Leitung von 220 Volt Spannung angeschlossen, am anderen Ende dagegen isoliert aufgehängt war. Die Erdleitung, die an eine Blitzableiterleitung angeschlossen wurde, wurde mit einem Präzisions-Voltmeter verbunden, dessen anderer Pol ebenfalls mit einer blanken Leitung in die Nähe des gespannten Drahtes gebracht wurde.

Beim ersten Versuch wurde mit reinem klaren Wasser derart gegen die beiden Drähte gespritzt, dass der Wasserstrahl in der Stärke von 11 mm eine Verbindung zwischen dem Voltmesser und der blanken Kupferleitung herstellte. Die Entfernung der losen Leitung von dem gespannten Kupferdraht betrug 50 cm und die Entfernung der Mündung des Strahlrohres von der Kupferleitung, d. h. die Länge des Wasserstrahls von der Mündung bis zum gespannten Kupferdraht, rund 1 m. Bei die-

sem Versuch zeigte das Voltmeter eine Spannung von 8 Volt. Wurde aber der lose hängende Draht des Voltmeters um den mittleren Ring des Strahlrohrs gelegt und dieses bis auf eine Entfernung von 30 cm der gespannten blanken Kupferleitung genähert, so wurde, als der Wasserstrahl diese Leitung traf, eine Spannung von 26 Volt gemessen.

Beim 2ten Hauptversuch wurde Salzwasser aus dem Kieler Hafen benützt. Die blanke lose Leitung war wieder um das Mundstück des Strahlrohrs gelegt und auf eine Entfernung von 30 cm dem gespannten Draht näher gebracht. Hiebei zeigte sich, als der salzhaltige Wasserstrahl die gespannte Kupferleitung traf, im Voltmeter eine Spannung von 180 Volt. Bei einer Entfernung des Strahlrohrs von etwa 1 m sank die Spannung auf 80 Volt, bei 1¼ m auf 70 Volt und bei 1½ m auf 40 Volt.

Beim 3ten Hauptversuch wurde Süsswasser mit Lehm vermischt, wobei sich bei einer Entfernung des Strahlrohrs von 30 cm nur eine Spannung von 15 Volt zeigte.

Beim 4ten Hauptversuch wurde Süsswasser mit Mutterboden gemischt, wobei sich bei 30 cm Entfernung eine Spannung von 50 Volt zeigte. Wurde ausserdem an Stelle des Mundstücks von 10 mm lichtem Durchmesser ein solches von 20 mm gesetzt, so erhöhte sich hiebei die Spannung bei 30 cm Entfernung um 30 Volt, also von 50 Volt auf 80 Volt.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass die Spannung, welche der betreffende Feuerwehrmann beim Bespritzen starkstromführender Leitungen durch seinen Körper erhält, einerseits abhängig ist von der Nähe des Strahlrohrs zur stromführenden Leitung und andererseits von der Dicke des Wasserstrahls. Der Feuerwehrmann ist um so mehr gefährdet, je mehr er sich der Leitung nähert und je grösser der Durchmesser des Wasserstrahls ist. Wäre bei dem oben beschriebenen 2ten Hauptversuch mit dem Salzwasser ein grösseres Mundstück genommen worden, so dass ein stärkerer Wasserstrahl erzeugt und durch diesen eine Berührungsfläche mit der stromführenden Leitung erzeugt worden wäre, so lässt sich mit einer gewissen Bestimmtheit behaupten, dass dann wohl die volle Betriebsspannung, im vorliegenden Falle also 220 Volt, durch den Wasserstrahl hindurch gezogen wäre.

Bei den Versuchen, die vom Branddirektor Giersberg in Berlin in Gemeinschaft mit der Firma Siemens & Halske vor-

genommen wurden, wurde eine Leitung mit 500 Volt Spannung bespritzt und ein Strahlrohr verwendet, das mit Bindfaden umwickelt war und dabei der Versuch mit der blossen Hand ausgeführt. Bei 10 cm langem Strahle und bei 13 mm Stärke wurden, so lange die Einhüllung ganz trocken war, einzelne, wenn auch nicht zu starke elektr. Schläge verspürt. Bei 28 mm Mundstück und bei Führung eines Strahlrohrs mit völlig nasser Einhüllung verstärkte sich die Ableitung des Stromes bei 10 cm Entfernung derart, dass eine Annäherung der Strahlrohrspitze auf weniger als 5 cm nicht mehr möglich war.

Ein weiterer Versuch wurde in Berlin unter unmittelbarer Berührung des Strahlrohrs mit der Leitung vorgenommen. Das Ergebnis war hiebei folgendes:

a) Trockene Einhüllung des Rohrs

1) mit Bindfaden ohne Lack ergab Schläge bis zu 30 Volt,

2) mit Bindfaden mit Lack ergab Schläge bis zu 20 Volt Spannung.

b) Durchnässung der Rohreinhüllung

1) mit Bindfaden ohne Lack bei Berührung mit Leder ergab Ausschläge bis zu 180 Volt und mit Bindfaden bis zu 450 Volt Spannung (also nahezu die ganze Spannung (500 Volt) der Leitung).

2) mit Bindfaden mit Lack und Berührung mit Leder gab Ausschläge bis zu 300 Volt Spannung.

Aus diesen Versuchen ging hervor, dass ein Einhüllen der Strahlrohre mit Leder oder Bindfaden nicht nur keinen Wert hat, sondern im vermeintlichen Sicherheitsgefühle nur schaden kann. Als Schutzmittel für den betreffenden Feuerwehrmann hat Branddirektor Freih. v. Moltke bei seinem oben erwähnten Vortrag in Stuttgart die Verwendung von Gummihandschuhen empfohlen. Alle Feuerwehr-Fahrzeuge in Kiel seien mit Gummihandschuhen ausgerüstet. — Ingenieur Kuhlmann wies bei der an den Vortrag von Branddirektor Freih. v. Moltke sich anschliessenden Diskussion darauf hin, dass die Gummihandschuhe vielfach fehlerhaft seien und einem ein falsches Sicherheitsgefühl geben. Die Hände schwitzen und der Gummi werde leicht brüchig, so dass dann die Benützung solcher Gummihandschuhe sehr gefährlich werden könne. Ebenso sei es mit der Benützung der Gummischuhe, um eine gut isolierte Aufstellung

des Mannes zu erhalten. Ein viel einfacheres, übrigens auch von Branddirektor Frhr. v. Moltke empfohlenes Schutzmittel, bestehe in solchen Fällen, wo die Verhältnisse dazu zwingen, eine unter Spannuug stehende Leitung zu bespritzen, darin, das Mundstück des Strahlrohres durch einen kräftigen Kupferdraht zu erden. Es ist natürlich nicht zulässig, dafür dünne Klingeldrähte zu benützen, es sollte mindestens ein Kupferdraht von 5 mm Durchmesser genommen werden. Eine „gute Erde" wird für die Feuerwehr bei Bränden durch die in der Nähe sich befindenden Blitzableiterleitungen wohl fast stets zu finden sein. Aber auch in den Fällen, wo dies nicht zutrifft, gibt es Rat: man verbinde das Mundstück durch eine Kupferleitung mit einer auf der Erde liegenden Metallplatte, die man noch besser in feuchte Erde einlässt, wodurch alle Gefahr vermieden wird.

Wenn aber die Verhältnisse es nicht erfordern, dass ein Hochspannungsdraht bespritzt werden muss, so sollte dies von der Feuerwehr auf alle Fälle unterlassen bezw. verboten werden, weil ein derartiges Bespritzen immer mit einer gewissen Gefahr für den betreffenden Feuerwehrmann verbunden ist.

Übrigens ist diese Sicherheitsmassregel nicht nur für Feuerwehrleute bei ausgebrochenen Bränden zu beachten. In vielen Gärten geschieht das Besprengen dadurch, dass man einen Schlauch an die in den betreffenden Gärten geführte Wasserleitung anschraubt und dann den Wasserstrahl spielen lässt. Führen über den betreffenden Garten hinweg keine elektr. Stromleitungsdrähte, so ist über das Bespritzen nichts zu sagen; führen aber solche Drähte darüber hinweg, vielleicht in ein nahegelegenes Haus, dann liegt die Gefahr vor, mit dem Wasserstrahl auch einmal die elektr. Leitung zu treffen, und die die Spritze handhabende Person kann unter Umständen sehr stark gefährdet werden, genau so, wie in den oben erwähnten Beispielen die das Löschrohr bedienenden Feuerwehrleute. Man nehme sich also sehr in Acht, beim Spritzen im Garten einen darüber hinwegführenden elektr. Leitungsdraht zu treffen, da dies unter Umständen ganz gefährliche Folgen haben könnte.

Vorsicht bei Feuerwehr-Übungen.

Bei Bränden und auch bei Feuerwehrübungen ist ferner noch an Orten, die elektr. Anlagen besitzen, noch weiter dafür Sorge zu treffen, dass die Feuerwehrgeräte nicht mit den Lei-

tungsdrähten in Berührung kommen, so lange diese unter Strom sind.

„Bei einer zu Forchheim in Oberfranken am 16. Mai 1897 abgehaltenen Feuerwehrübung, die zum Glück „trocken“ vorgenommen wurde, stieg ein Strahlrohrführer von der verlängerten Schiebleiter ab und hatte vorschriftsmässig den Schlauch mit dem hinten herabhängenden Strahlrohre über die rechte Schulter gelegt. Die Leiter stand in der Nähe zweier Lichtanlagedrähte mit etwa 170 Volt Spannung. Beim Absteigen schob sich, ohne dass der betreffende Steiger es wahrnahm, das Strahlrohr zwischen die beiden Leitungen, legte sich auf den einen Draht wie auf einen Hebelstützpunkt auf, hob sich in die Höhe und berührte mit dem Mundstück den anderen Draht. Jetzt war Kurzschluss hergestellt; augenblicklich schlugen aus beiden Drähten Funken und als man später das Strahlrohr untersuchte, war es an dem Mundstück, wo es kaum eine Sekunde lang auf dem Leitungsdrahte aufgelegen war, durchgeschmolzen. Wäre der Schlauch und vielleicht auch der Steiger und die Leiter nass gewesen, so wäre daraus wohl ein bedenklicher Unfall entstanden.“

„Bei einem zu Berlin am 22. Februar 1897 in einer Schirmfabrik ausgekommenen Brande berührte der Steiger beim Aufklimmen auf die Steckleiter mit dem noch trockenen Strahlrohre zufällig eine elektr. Starkstromleitung; sofort wurde ein starker Lichtbogen sichtbar, welcher den einen Leitungsdraht zum Abschmelzen brachte; auf den Mann übertrug sich glücklicherweise die Entladung nicht.“

„Als drittes Beispiel diene ein Vorkommnis bei einer zu Pasing bei München am 13. Mai 1900 abgehaltenen Übung. Dort sind zahlreiche Drähte sowohl für den Telephonverkehr als auch für Licht- und Kraftanlagen gezogen. Schon bei der Schulübung kam die Spitze einer mechanischen Leiter beim Aufstellen mit drei Telephondrähten in Berührung, die sich in die beiden aufeinanderliegenden Leiterteile verklemmten und nur mit einiger Schwierigkeit wieder freigemacht werden konnten. Bei der Angriffsübung aber kam eine neue

mechanische Leiter bei Aufstellung und Wendung mit ihrer eisernen fingerdicken Verspannung mit drei Hochspannungsdrähten in Berührung und sofort sprühten bei allen drei Berührungspunkten unter kräftigem Knistern Strahlenbündel hervor. Die Verspannung zeigte sich an diesen drei Berührungsstellen fast bis zur Mitte durchgeschmolzen. Da sich die Bedienungsmannschaft hütete, die Eisenteile der Verspannung zu berühren, sondern zum Wegschieben der Leiter nur die trockenen Holzteile der Leiter anfasste, so ging es glücklicherweise ohne jeglichen Unfall ab."

Verhaltungsmassregeln bei elektr. Bränden.

Die Verhaltungsmassregeln, wie sich das Publikum und hiezu gehört in erster Linie auch die Feuerwehr, bei elektr. Bränden hinsichtlich abgerissener Drähte und des Behandelns von Verwundeten zu benehmen hat, habe ich schon früher ausführlich besprochen, ebenso, dass es sich vielfach empfiehlt, die Drähte mit geeigneten Isolierzangen zu durchschneiden, um dadurch den elektr. Strom zum Unterbrechen zu bringen, was, wie ich schon früher hervorgehoben habe, nicht ohne Gefahr auszuführen und mit grösster Vorsicht vorzunehmen ist, weshalb die Fahrzeuge vieler Feuerwehren mit entsprechenden Gummihandschuhen und Isolierzangen ausgerüstet sind.

Um übrigens bei ausbrechenden Bränden die Stromzuführung für die elektr. Strassenbahnen rasch unterbrechen zu können, müssen in den verkehrsreichsten Strassen von vielen Städten, auf Veranlassung der Polizei, in Entfernungen von etwa 200 m Ausschaltestellen angebracht werden, um auf diese Weise den Strom rasch abstellen zu können.

Künstlicher Kurzschluss.

Eine andere Art, den Strom rasch zum Unterbrechen zu bringen, besteht darin, einen künstlichen Kurzschluss herbeizuführen, wodurch dann die Bleisicherungen abschmelzen und der Strom unterbrochen wird. Dabei wird empfohlen, eine Eisenstange auf beide Drähte zu werfen, aber so, dass man mit beiden Händen schon wieder weg ist, ehe die Stange auf die Drähte fällt. Dies ist nicht nur ein sehr gefährliches Manöver, sondern es hilft in vielen Fällen auch häufig deshalb gar nichts, weil nachgewiesenermassen in fast allen Fällen nicht alle zu einer Leitung gehörigen Sicherungen durchbrennen, sondern meistens noch einige unzerstört bleiben und die Leitung dadurch

noch ihre Spannung behält. Es muss also auch vor diesen Manipulationen gewarnt werden.

In dem schon einigemal erwähnten Vortrag des Branddirektors Freih. v. Moltke aus Kiel in Stuttgart am 16. Mai 1906 gab er unter anderem auch an, dass die Geräte der Kieler Feuerwehr sämtlich mit eigens konstruierten Kurzschlussvorrichtungen ausgestattet seien, um durch deren Hilfe die Starkstromleitungen stromlos zu machen. Diese Kurzschlussvorrichtungen wirken in der Weise, dass ein Keil zwischen die Schienen und das Pflaster eingetrieben werde und ein Haken, der mit einem Drahte mit dem Keil in Verbindung stehe, mit Hilfe einer Stange über den Leitungsdraht der Strassenbahn gehängt werde. Zwischen Draht und Haken sei ein Widerstand eingeschaltet, der so gross sei, dass der Höchststromausschalter auf der Station herausfliege, wodurch dann die Leitung stromlos werde.

Übrigens dürfte es zum Schluss noch interessant sein, zu hören, dass im vorigen Jahre Branddirektor Freih. v. Moltke auf eine Rundfrage bei den Feuerwehren von 38 grösseren Städten des deutschen Reiches, ob das Durchschneiden von Oberleitungen der Strassenbahnen bisher jemals notwendig war, die Antwort erhielt, dass — mit Ausnahme von Hamburg — dies bis jetzt noch nirgends vorgekommen sei.

Schluss-Anmerkung.

Wenn auch die Gefahren der Elektrizität für Leben und Feuer nicht in dem Masse vorhanden sind, wie sie zuweilen hingestellt werden, so ist aus all' den obigen Ausführungen doch zur Genüge ersichtlich, dass es andererseits auch nicht richtig ist, die Elektrizität als völlig gefahrlos zu betrachten und nur von „vermeintlichen oder eingebildeten" Gefahren der Elektrizität zu sprechen. Eine grössere Ängstlichkeit, bezw. eine grössere Vorsicht der Elektrizität gegenüber ist weit mehr rätlicher als eine zu grosse Vertrauensseligkeit, die sich schon in vielen Fällen zum grossen Nachteil der Beteiligten bitter gerächt hat.

Anhang.

Die mutmassliche Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe bei Echterdingen am 5. August 1908 und die sich hieraus ergebenden Lehren.

Einleitung.

Es ist wiederholt schon vorgekommen, dass mit Gas gefüllte Luftballone in dem Augenblicke, in welchem sie zur Erde niedergelassen, diese berührten, infolge einer plötzlichen Entzündung des Gases, auch wenn gar keine brennenden Gegenstände in der Nähe waren, explodierten, ohne dass es früher gelungen wäre, die Ursache dieser Gasentzündungen in einwandfreier Weise festzustellen.

Explosion des Ballons „Humboldt."

Die ersten genauen Untersuchungen über solche Explosionen wurden veranlasst durch die Explosion des für wissenschaftliche Forschungen gebauten Ballons „Humboldt" im Jahre 1893. Der Ballon hatte eine fast elfstündige Fahrt bei sehr trockenem, fast wolkenlosem, Wetter hinter sich. Als nun beim Landen das Ventil aus der halb entleerten Hülle genommen wurde, bildete sich ein elektrischer Funke, worauf der Ballon mit lautem Knall in wenigen Minuten verbrannte. Als Ursache des Unfalls liess sich damals mit grosser Wahrscheinlichkeit der Unterschied in der elektrischen Spannung zwischen dem trockenen, daher gut isolierten, aber durch Reibung am Boden elektrisierten Ballonstoff (Baumwolle mit Gummizwischenlage) und den Metallteilen des Ventils nachweisen.

Zur Verhütung derartiger Vorkommnisse wurden damals zwei Mittel vorgeschlagen und ausprobiert. Der eine Vorschlag bestand darin, sogleich nach der Landung alle Metallteile des Ventils zur Erde abzuleiten, der andere darin, die

Ballonhülle dauernd feucht, also elektrisch leitend zu halten, indem man sie vor jeder Fahrt mit einer die Feuchtigkeit gut absorbierenden Chlorcalciumlösung bestrich. Das letztere Verfahren hat sich jedoch nicht immer als ganz ausreichend erwiesen und von dem erstern wird leider auch heute noch — anscheinend nur aus Sorglosigkeit und Bequemlichkeit — recht wenig Gebrauch gemacht.

Die Katastrophe bei Echterdingen.

Die tragische Katastrophe des Zeppelin'schen Luftschiffes bei Echterdingen am 5. August 1908 hat zu mancherlei Deutungen der Ursache Anlass gegeben. Dass die Katastrophe nicht etwa infolge von in der Nähe befindlichen offenen Flammen, von Blitzschlägen, brennenden Zigarren, oder Stichflammen aus den Motoren, wie sie z. B. die Lenkballone von Wölfert und Severs vernichtet haben, verursacht wurde, ist nach den abgegebenen genauen Erklärungen aller Beteiligten und Augenzeugen einwandfrei festgestellt.

Prof. Dr. Hergesell über die Gründe der Katastrophe.

Über die Gründe der Zeppelin'schen Luftschiffkatastrophe bei Echterdingen am 5. August 1908 teilte Prof. Dr. Hergesell von Strassburg in einem auf Veranlassung des Vereins Deutscher Ingenieure im letzten Herbst in Köln abgehaltenen Vortrag mit, dass das Luftschiff am 4. August 1908 nicht richtig abgewogen worden sei. So lange die beiden Motoren zugleich arbeiteten, habe die schlechte Abwägung kompensiert werden können, als aber der eine Motor versagte, sei dies nicht mehr der Fall gewesen. Das Luftschiff habe sich statt horizontal, etwas mit der Spitze nach oben gestellt, wodurch ein dreimaliger Aufstieg in Höhen von 600 m, 800 m und sogar 1100 m bewirkt worden sei. Die Folge sei nun so starker Gasverlust gewesen, dass die Landung bei Oppenheim und später bei Echterdingen nötig geworden sei.

Diese von Prof. Dr. Hergesell abgegebene Erklärung bezieht sich jedoch nur auf die Ursache der Landung, nicht aber auf die uns hier interessierende Ursache der Explosion.

Graf Zeppelin über die Ursachen der Landung bei Echterdingen.

Ehe ich jedoch auf letztere, d. h. auf die Ursache der Explosion, näher eingehe, möchte ich nur mit einigen Worten auf das hinweisen, was Graf Zeppelin selbst bei Gelegenheit der Jahresversammlung des Deutschen Museums in München am 1. Oktober 1908 über die Ursachen der Landung und der sich hieraus ergebenden Lehren und Folgerungen angegeben hat: „Die ungleichen Auftriebe vorn und hinten könne man

in Zukunft durch reichliche Verlegung von Lasten besser ausgleichen, als dies seither durch Hin- und Herschieben des Laufgewichts geschehen sei. Ein anderes Mittel sei das Aufnehmen von Wasserbalast. Aus welchem Grunde der eine Motor defekt geworden sei, habe sich nicht aufklären lassen. Mittel zur Verankerung seien reichlich mitgeführt worden, bei der ersten Landung am Rhein habe man aber alles irgendwie Entbehrliche zurücklassen müssen. Es war daher nur eine Garnitur von Verankerungsmitteln vorhanden. Aber auch diese hätte vollständig ausgereicht, das Fahrzeug gegen einen noch so heftigen, gegen die Spitze wirkenden Sturm festzuhalten. Es sei auch tatsächlich nichts gerissen, sondern das Fahrzeug habe sich in der Weise losgemacht, dass es von der Windwelle von unten herauf gehoben wurde; es bekam seinen Anker wie bei einem Schiff erst dann los, als es gerade darüber war und ihn nach oben ziehen konnte. So hat es seine Verankerung aus der Erde herausgerissen und mitgenommen und der Auftrieb war so gewaltig, dass die Gondel, welche von 30 Mann gehalten wurde, diesem Aufdruck nicht widerstehen konnte. Dies sei eine Sache, die sich wohl kaum wiederholen werde. Ein so mächtiger Aufdruck sei nur dadurch entstanden, dass man die Tausende von Zuschauern durch die Truppen in einer gewissen Entfernung zurückgehalten habe. Durch diesen Menschenwall sei eine Art von Schüssel entstanden, in deren Längsmitte sich das Fahrzeug befand. Der Sturm habe sich an dem ersten Wall gestaut und sich dann in dieses Becken hinein verbreitet, dazu sei der Widerstand des Luftschiffes selbst gekommen, wodurch dieses gleichzeitig nach der andern Wand von Menschen, die die andrängende Luft nicht hinausgelassen habe, gedrückt worden sei und dadurch den gewaltigen Auftrieb veranlasst habe. Graf Zeppelin sagte, dass er die feste Überzeugung habe, dass, wenn man in der Lage sei, dieses Eindringen von Sturm unter das Luftschiff zu vermeiden, letzteres unter allen Umständen zu fesseln sei. Wenn man dies damals gewusst hätte, hätte man alle Leute herangerufen und das Luftschiff wäre, nach der Ansicht des Grafen Zeppelin, sicherlich nicht losgerissen."

Amtliche Untersuchung der Katastrophe.

Um die Ursache der Katastrophe von Echterdingen amtlich festzustellen, wurde seitens des Reichskommissars Lewald der Dozent Dr. Lincke vom physikalischen Verein in Frankfurt mit wissenschaftlichen Untersuchung beauftragt. Die betreffende der

amtliche Untersuchung habe als Ursache des Unglücks eine elektrostatische Entladung mit Funkenbildung angenommen. Eine eingehende Begründung dieser Behauptung konnte ich leider nicht bekommen.

Wie mir Herr Direktor Colsmann der Luftschiffbau-Gesellschaft Zeppelin in Friedrichshafen auf eine diesbezügliche Anfrage am 26. Januar 1909 mitteilte, sind von Friedrichshafen aus, d. h. vom Grafen Zeppelin und seinen Ingenieuren und Beamten, keinerlei Berichte über den Unglücksfall selbst bekannt gegeben worden, dagegen ist in allen möglichen Tagesblättern und in Zeitschriften gar mancherlei darüber geschrieben worden.

Über den Vorgang der Explosion.

Ehe ich auf die verschiedenen Erklärungsversuche eingehe, möchte ich zunächst den Vorgang der Explosion, wie er durch einwandfreie Zeugen festgestellt ist, kurz hier angeben. Das Luftschiff lag zuerst parallel zur Erdoberfläche, dann wurde es durch den Sturm losgerissen und etwas gehoben. Durch die Manipulationen des Monteurs Schwarz, der unmittelbar vor der Explosion des Ballons die Ventile zog, wurden die vorderen Wasserstoffhüllen entleert, durch die hiedurch verursachte Gasausströmung sank der Ballon und bei diesem Sinken wurde beobachtet, wie oben aus den Ventilen Flammen herausgeschlagen haben, auf die dann unmittelbar darauf die unheilvernichtende Katastrophe erfolgte. Nach den Angaben des Diplom-Ingenieurs Graf Zeppelin jun. habe der Ballon nach dem Ziehen der Ventile noch etwa 1150 m zurückgelegt und sei dann zur Erde gesunken, die Gasfüllung sei etwa in 10 Sekunden und die Hülle und die Stoffteile in etwa 8 Minuten verbrannt. (Schwäb. Merk. vom 8. August 1908.)

Die atmosphärische Elektrizität als Ursache der Explosion.

Was nun die Ursache der Explosion anbelangt, so ist, wie schon erwähnt, nicht bloss von amtlicher Seite, d. h. von Dr. Lincke in Frankfurt, sondern auch von Prof. Dr. Pfaundler in Graz (Münchner Neueste Nachrichten vom 20. August 1908) die atmosphärische Elektrizität als Urheberin der Katastrophe bezeichnet worden.

Die atmosphärisch-elektr. Verhältnisse im Hinblick auf das allgemeine Ballonproblem.

Um nun von den in Frage stehenden Erscheinungen eine deutlichere Anschauung zu geben, sollen im folgenden die atmosphärisch-elektrischen Verhältnisse im Hinblick auf das allgemeine Ballonproblem kurz dargestellt werden:

Die Erde verhält sich in normalem Zustande, wie eine negativ elektrisch geladene Kugel; d. h. irgend ein negativ geladener

Körper wird in ihrer Umgebung abgestossen, ein positiv geladener dagegen angezogen. Die betreffenden Kräfte sind sehr klein, in der Nähe der Erdkugel grösser als in der Umgebung. Man kann sich nun eine Fläche in der Luft vorstellen, die dadurch characterisiert ist, dass irgend ein geladener Körper eine gleich starke Kraft von der Erde erfährt, wo immer er sich auch auf dieser Fläche befindet. Derartige Flächen gleichen Potentials, oder sogen. „Niveauflächen", verlaufen etwa mit der Erdoberfläche parallel und schmiegen sich ihr, die Unebenheiten nach oben mehr und mehr ausgleichend, an. Über einem Berggipfel, Kirchturm u. s. w. drängen sie sich stark zusammen, in Senkungen, Tälern u. s. w. haben sie dagegen grösseren Abstand. Zwischen je zwei solchen Potentialflächen besteht eine elektrische Potentialdifferenz, ein Spannungsunterschied, der bei normalem Wetter und ungestörtem Felde etwa 100 technische Spannungseinheiten oder 100 Volt zwischen zwei 1 m von einander entfernten Potentialflächen beträgt. Zwischen zwei 10 m entfernten Flächen beträgt die Potentialdifferenz etwa 1000 Volt und zwischen 100 m nahezu 10 000 Volt. Diese Werte nehmen mit grösserer Höhe ab, ändern sich dauernd durch die mannigfachsten Umstände und bilden in ihrem Verlauf zur Zeit noch einen Gegenstand der Forschung. Im allgemeinen ist im Winter das Potentialgefälle grösser als im Sommer, in anderen Fällen kann es auch schwächer werden, ja in abnorm seltenen Fällen den entgegengesetzten Sinn annehmen, so dass also die Erde positiv gegen eine negative Atmosphäre erscheint. In dem bisher Gesagten ist die Luft nur als ein isolierendes, die elektr. Kräfte übertragendes, Zwischenmittel, als ein Dielektrikum, dargestellt worden. Dies trifft in Wahrheit nicht ganz zu. Vielmehr ist die Luft selbst auch Träger wahrer elektr. Ladung und hat eine gewisse Leitfähigkeit. — In der Luft befinden sich stets zahlreiche „Jonen", d. h. kleinste, bewegliche, mit elektr. Ladung behaftete Teilchen, und obwohl durch Wiedervereinigung entgegengesetzt geladener Jonen stets eine grosse Zahl verschwindet, so entstehen doch durch mancherlei Ursachen, namentlich durch die in der Atmosphäre und im Erdboden befindlichen radioaktiven Substanzen, welche die Luft zu „ionisieren" vermögen, so viele neue Jonen, dass ein Gleichgewichtszustand zustande kommt. Die Messungen zeigen, dass der Anteil der positiven Jonen etwas grösser ist, dass also

die Luft wahre positive Ladung enthält. Der Abstand der Potentialflächen und der Verlauf des Potentialgefälls ist nun primär oder sekundär in Zusammenhang mit der Jonenführung der Luft; doch erübrigt sich ein Eingehen auf dieses Gebiet, da es bei der Betrachtung unseres eigentlichen Gegenstandes kaum mehr in Frage kommt. Viel mehr interessiert uns die Frage: „Wann kann die atmosphär. Elektrizität das entzündliche Gas eines Luftschiffes gefährden?" Diese Frage wird sich so beantworten lassen, dass sich ein Luftschiff immer dann in kritischer Situation befindet, wenn — während des Ausströmens von Gas — in der Nähe des Ballons ein abnorm hohes Potentialgefälle herrscht. — Beträgt zwischen zwei Körpern die Potentialdifferenz einige tausend Volt und sind sie sich nahe genug, dann gleicht sich der Spannungsunterschied durch einen elektr. Funken aus. Man erhält schon Fünkchen von 1 mm Länge bei einem Spannungsunterschied von 5000 Volt. Ein solcher Funken kann selbstverständlich das ausströmende Gas eines Ballons entzünden. Hat nur ein Körper, etwa der Erdboden, oder ein Teil des Ballons, einen abnorm starken Potentialunterschied gegen die umgebende Luft, so kommt es zu einem Ausströmen der Elektrizität in einer sog. „stillen Entladung", oder einem sog. St. Elmsfeuer und es ist nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen, dass auch ein solches einen Ballon gefährden kann.

Wann gefährdet die atmosphär. Elektrizität einen Ballon?

Untersuchen wir nun die Fälle, wenn in der Nähe des Luftschiffes ein hohes Potentialgefälle herrscht, oder wie ein solches durch unvorhergesehenen Zwischenfall entstehen kann, wobei jedoch auf etwaige Elektrisierung durch Reibung oder aufliegenden Staub, keine Rücksicht genommen wird.

Wann herrscht in der Nähe eines Ballons ein hohes Potentialgefälle?

Betrachten wir ein Luftschiff vor der Abfahrt. Die leitende Ballonhülle ist in Verbindung mit dem Erdboden und hat etwa dessen Spannung. Über der Ballonhülle werden, etwa wie über einem Berg, die Potentialflächen zusammengedrückt. Ist das Luftschiff aufgestiegen, so hat die Ballonhülle noch die Spannung der Erdoberfläche und die Potentialflächen verlaufen so, als hänge noch das Luftschiff mit der Erde zusammen, d. h. die Potentialflächen sind sehr stark zusammengedrängt. Aber jetzt beginnen die Jonen der Luft in Wirksamkeit zu treten. Die negativen Jonen fliehen den negativ geladenen Ballon, die positiven stürzen auf ihn zu und laden ihn allmählich positiv auf.

Der steigende Ballon.

Sowie die Ladung eine gewisse positive Spannung angenommen hat, liegt die zu dieser Spannung gehörige Potentialfläche auf seiner Oberfläche, während die niederen Potentialflächen inzwischen nach unten gedrückt worden sind. Schliesslich kommt der Ballon mit seiner Umgebung ins elektr. Gleichgewicht, er hat jetzt, so lange er nicht steigt und fällt, gegen seine Umgebung den denkbar kleinsten Spannungsunterschied. Geht der Ballon zur Landung über, nähert er sich also wieder der Erde, so tritt die umgekehrte Erscheinung ein. Er reisst die Potentialflächen aus der Höhe mit hinab, alle tieferen unter sich enger gegeneinanderdrückend. Es entsteht ein Potentialunterschied des Ballons gegen den Boden und zwar ein um so grösserer, aus je beträchtlicherer Höhe der Ballon kommt. Bei der Berührung mit dem Erdboden kann es daher zu einer Funkenentladung kommen. Dass diese nicht öfter beobachtet wird, mag seinen Grund vor allem darin haben, dass die Hülle — als schlechter Leiter — sich nicht als Ganzes entladet, sondern nur die zunächst der Berührungsstelle befindlichen Ladungen zur Funkenbildung herangezogen werden. Bei einem Ballon mit gut leitender Hülle, wie es ein Aluminium-Ballon ist, wird dagegen die ganze Ladung durch den Funken entladen. Die Funkenbildung wird also hier, falls sie nicht verhindert wird, eine viel intensivere sein können.

Der fallende Ballon und die Möglichkeit der Entstehung elektr. Funken.

So plausibel diese Erklärung ist, bei der übrigens nur an eine einfache Fahrt und Landung gedacht und auf etwaige elektr. Ladungen der Wolken keine Rücksicht genommen ist, so scheidet sie bei der Zeppelin'schen Katastrophe in Echterdingen doch vollständig aus, weil ja vor der Entzündung der Zeppelin'sche Ballon mit der Erde in leitender Berührung war und somit keine aus grösserer Höhe mit herabgebrachte elektrische Ladung mehr enthalten konnte.

Ausscheiden der obigen Erklärung bei der Zeppelin'schen Katastrophe.

Da somit die obige Erklärung ausgeschieden werden muss, so wurde versucht, zur Erklärung der Explosion die Glimm- und Büschelentladungen heranzuziehen. Zwischen den einzelnen Teilen eines Ballons selbst bestehen nämlich auch elektr. Spannungsunterschiede, die es aber schon deshalb nicht zur Bildung eines Funkens kommen lassen, weil die Stromstärke zu klein ist. Bei solcher geringen Stromstärke entstehen nur Glimm- und Büschelentladungen, wodurch sich aber ein Gas oder ein Gasgemisch nicht entzünden lässt. Zudem ist es ja wenig wahr-

Die Glimm- u. Büschelentladungen.

scheinlich, dass der elektr. Ausgleich gerade in der Nähe der Austrittstelle des Gases erfolgt. Etwaige statische Überspannungen des elektr. Zustandes brauchen daher selbst bei Luftschiffen mit grossen Metallmassen nicht gefürchtet zu werden.

Die schwingenden Überspannungen.

Anders steht es mit den schwingenden Überspannungen, wie sie z. B. als Induktionswirkungen der durch herannahendes Gewitter hervorgerufenen Spannungen in Form von St. Elmsfeuer zur Erscheinung kommen. Diese Erklärung ist durchaus nicht ausgeschlossen; aber sie ist nicht unbedingt notwendig. Zudem treten bekanntlich diese St. Elmsfeuer nur an sehr hohen und spitzigen Gegenständen auf. Bei den durch die Induktionswirkung entfernter Blitze vorkommenden schwingenden Ueberspannungen hat man unter Umständen schon zu wiederholtenmalen lange elektr. Funken in der Nähe der Gondel beobachtet, ohne dass jedoch diese Funken irgendwelches Unheil angerichtet hätten. Immerhin muss ein Ballon die Nähe von Gewitterwolken möglichst vermeiden und er sollte, falls er dahin gelangt, schleunigst landen, wenn nicht ganz dringende Aufgaben zu einer Fortsetzung der Fahrt zwingen. Denn auch direkte Blitzschläge sind zu fürchten, die wohl stets verhängnisvoll ausfallen werden. Erst im Jahr 1907 ist ein italienischer Militärballon auf diese Weise verunglückt und der Insasse ums Leben gekommen. Jedenfalls ist bei Gewitter die Gefahr für einen Ballon grösser als für einen Menschen, der auf freiem Felde steht. Unter allen Umständen ist davon abzuraten, ein Überfliegen der Gewitterwolke zu versuchen. Sommerliche Gewitterwolken erstrecken sich durchschnittlich bis zu 5 km, nicht selten bis zu 8 km Höhe; das Experiment würde also fast nie gelingen, die Gefahr aber stets vergrössert werden.

Die Gefährlichkeit der Nähe von Gewitterwolken für einen Ballon.

Um nun auf die Zeppelin'sche Katastrophe zurückzukommen, so möchte ich hier noch erwähnen, dass Prof. Dr. Pfaundler in Graz noch auf eine andere Möglichkeit hingewiesen hat, die gerade im Falle der Vernichtung des Zeppelin'schen Luftschiffes sich zugetragen haben kann.

Ansicht v. Prof. Dr. Pfaundler über die Katastrophe.

Das Zeppelin'sche Luftschiff hat ein Metallgerippe, die Elektrizität kann in ihm sehr rasch strömen, das Luftschiff verhält sich also zur Erde wie ein Konduktor in der Nähe eines geladenen Leiters. Durch die Influenzwirkung der Erde wird es elektrisiert. Positive Elektrizität wird auf dem der Erde

zugekehrten Teil gebunden, die negative auf die andere abgestossen. Die auftretenden Spannungen sind schwach, wenn das Luftschiff sich in horizontaler Lage befindet; sie können aber sehr stark werden, wenn es sich vertikal stellt oder teilweise aufrichtet und die Potentialflächen dann sehr stark deformiert werden. Um dies in populärer Form näher zu erklären, denken wir uns eine grosse Kugel von über 1 m Durchmesser, die isoliert aufgestellt ist und eine mässige elektrische Ladung besitzt, ähnlich wie es ja auch bei der Erde der Fall ist. Wir verschaffen uns einen relativ kleinen Leiter von der Gestalt des Zeppelin'schen Luftschiffs, indem wir eine Zigarre mit Staniol glatt umwickeln. Diesen Leiter befestigen wir in der Mitte an einer isolierenden Handhabe, z. B. einer Siegellackstange, oder einem Federhalter aus Ebonit. Legen wir den Leiter parallel zur Oberfläche an die Kugel, so nimmt er etwas von der Ladung an und kommt mit der elektr. Spannung ins Gleichgewicht. Heben wir jetzt den Leiter nur ein wenig, etwa 1 bis 5 Millimeter parallel mit der Kugeloberfläche in die Höhe, so wird sein elektr. Zustand nicht merklich verändert; er ist noch immer sehr nahe im Gleichgewicht und es entstehen keine Funken. Kehren wir jetzt aber das eine Ende von der Kugel ab, während das andere Ende an seinem Platze verbleibt, oder gar genähert wird, so ändern sich die Verhältnisse: das Gleichgewicht auf dem Leiter wird gestört und es müssen Elektrizitätsmengen von einem Ende zum anderen fliessen, um das Gleichgewicht auf dem Leiter wieder herzustellen. Man sagt, der Leiter habe durch gesteigerte Influenz elektrische Ladungen angenommen. Das der Kugel zugekehrte Ende erhält eine entgegengesetzte Ladung, und es kommt sofort, oder bei weiterer Annäherung zu einem Funken zwischen Leiter und Kugel. Dieser Funken wird um so eher und um so stärker auftreten, je mehr der Leiter aus der parallelen zur senkrechten Lage aufgerichtet wurde und je langgestreckter seine Gestalt ist.

Betrachten wir die Sachlage bei der Zeppelin'schen Katastrophe, so waren die Bedingungen beim Zeppelin'schen Luftschiff ganz analoge. Das Luftschiff lag zuerst parallel zur Erde, dann wurde es durch den Sturm losgerissen und etwas gehoben. Durch die Manipulationen des Monteurs Schwarz, der die vorderen Wasserstoffhüllen entleerte, senkte sich dann das Vorderteil, während das Hinterteil höher lag und in dieser geneigten

Lage kam dann der Ballon wieder mit der Erde in Berührung. Die Potentialdifferenz zwischen dem Niveau der Erdoberfläche und dem Niveau, bis zu welchem der hintere Teil des Ballons gehoben war, mag klein gewesen sein; aber bei der sehr grossen Kapazität des ganzen Ballons kann trotzdem die disponibel gewordene Ladung zur Bildung eines Funkens ausgereicht haben. Da nun schon ein sehr schwacher Funke Wasserstoffgas, welches mit Luft gemischt in seine Nähe kommt, entzünden kann, so liegt die gegebene Erklärung, so weit sie sich ohne quantitative Berechnung überblicken lässt, vollständig im Bereiche der Möglichkeit. War durch das herannahende Gewitter die Spannungsdifferenz der Niveauflächen vergrössert, oder mit anderen Worten, waren die Niveauflächen gleichen Potentials einander näher gerückt, so war damit die Ursache der Funkenbildung gesteigert. Damit ergibt sich, ohne das Phänomen des St. Elmsfeuers zu Hilfe zu nehmen, eine gut brauchbare Erklärung der Zeppelin'schen Katastrophe. Diese Erklärung wäre nur dann widerlegt, wenn der eiserne Anker, den das Luftschiff nachschleppte, durch eine Kette, also durch einen Leiter, mit der Ballonhülle in Verbindung gestanden wäre und nicht durch ein schlecht leitendes Tau. Wie mir Herr Direktor Colsmann auf eine diesbezügliche Anfrage am 9. Oktober 1908 mitteilte, war der Anker mit zwei Stück, je circa 30 m langen Manillahanfseilen von je 30 mm Stärke angefesselt, auch seien die Taue zur Zeit des Abreissens vollständig trocken gewesen. Diese Taue bildeten also eine schlecht leitende Verbindung, so dass die oben angegebene Pfaundler'sche Erklärung der Ursache der Katastrophe sehr viel für sich hat und eine grosse Wahrscheinlichkeit besitzt. Voraussetzung hiebei ist allerdings noch, dass der betreffende elektrische Funken sich in der Nähe der gezogenen Ventile gebildet haben muss, weil ja durch Zeugen festgestellt ist, dass hier die ersten Flammen sich gezeigt haben.

Erklärungsversuch v. Direktor Colsmann in Friedrichshafen.

Direktor Colsmann von der Luftschiffbaugesellschaft Zeppelin in Friedrichshafen teilte mir in einem Schreiben am 26. Januar 1909 mit, dass es durchaus nicht notwendig sei anzunehmen, dass das Unglück infolge elektrischer Entladung entstanden sei. Nachdem das Ventil gezogen war und sich infolgedessen über dem Luftschiff Knallgas in reichlicher Menge gebildet hatte, wurde durch das Anfahren an die Bäume das Gerippe zerstört und dabei sei es leicht möglich gewesen, dass

infolge des Aneinanderschlagens der Metallteile durch mechanische Reibung Funken entstanden seien, welche dann das Gas zur Entzündung gebracht haben. Was diesen Erklärungsversuch anbelangt, so glaube ich, denselben, als ziemlich unwahrscheinlich, ausschalten zu dürfen, da, nach meinem Dafürhalten, durch den Anprall des Aluminiumgerüstes an die Bäume wohl kaum Funken entstanden sein dürften; auch ist nach den Aussagen der Zuschauer äusserlich nichts hierüber beobachtet worden. Es ist ja schliesslich immerhin möglich, dass durch das Aufschlagen des Ballons an die Bäume im Inneren des Ballons einzelne Teile des Aluminiumgerippes sich loslösten und durch die gewaltige Reibung der Metallteile an einander Funken erzeugten, die dann das im Innern des Ballons enthaltene Gemisch von Wasserstoffgas und Luft als Knallgas zur Explosion brachten, wobei dann die ersten Flammen oben an den Ventilen herausschlugen, welch' letztere Erscheinung ja durch Beobachter festgestellt worden ist.

Erklärungsversuch v. Direktor Némethy in Arad.

Viel plausibler erscheint mir ein weiterer Erklärungsversuch, auf den auch Direktor Colsmann hinweist und der von Direktor Némethy von Arad in der „Wiener Luftschiffer-Zeitung" Nr. 2 vom 15. Januar 1909 als die allein richtige Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe angesehen wird. Diese Erklärung besteht darin, dass sich durch das scharfe Ausströmen des Wasserstoffs beim Ziehen der Ventile Reibungselektrizität an den Ventilwänden, oder an anderen spitzigen, oder kantigen, Teilen der Ventile und der anschliessenden Teile des Ballonkörpers gebildet habe. Die entstandenen Funken seien dann auf das ausströmende Gas übergesprungen und hätten dasselbe so zur Entzündung gebracht. Direktor Némethy gibt an, dass er Versuche mit solchen ausströmenden Gasen gemacht habe und dass seine Anschauungen durch Experimente bestätigt worden seien. Direktor Colsmann weist in seinem oben erwähnten an mich gerichteten Schreiben auch noch darauf hin, dass, wenn man das Wasserstoffgas aus den Stahlflaschen — allerdings unter sehr hohem Drucke — ausströmen lasse, sich sehr oft Lufterscheinungen zeigen, die auf Elektrizität zurückzuführen seien, die jedoch nicht in der Lage seien, das reine Wasserstoffgas zu entzünden, wohl aber Knallgas zur Explosion zu bringen. Dass diese Anschauung der Ursache der Explosion die richtige sei, sucht Direktor Némethy von Arad besonders dadurch zu be-

kräftigen, dass er darauf hinweist, dass durch Augenzeugen und durch die eigenen Angaben des Diplomingenieurs Graf Zeppelin jun. unzweifelhaft erwiesen sei, dass die Flammen bei der Echterdinger Explosion zuerst oben bei den Ventilen herausgeschlagen haben, während, wenn sich die elektr. Funken an den unteren Ballonteilen gebildet hätten, die ersten Flammen sich an den untersten Ballonteilen gezeigt und dann sofort den ganzen Ballon eingehüllt haben müssten.

Ob die von Direktor Némethy als einzig brauchbare Erklärung der Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe wirklich ausreichend ist, um all die beobachteten Erscheinungen zu erklären, erscheint mir äusserst zweifelhaft, da ja diese elektrischen Erscheinungen nur dann auftreten, wenn das betreffende Gas unter grossem Drucke steht und die Austrittsgeschwindigkeit eine sehr hohe ist. Gegen diese Anschauung spricht auch der Umstand, dass ein Hauptgrund der Landung in Echterdingen ja bekanntlich darin bestand, dass das Wasserstoffgas nicht mehr in genügender Menge vorhanden war und dass man genötigt war, eine frische Füllung von Friedrichshafen abzuwarten. Die Innenballone waren schlapp, d. h. nur noch mässig mit Wasserstoffgas angefüllt, es konnte demnach das, wegen seines geringen spezif. Gewichts ja immerhin noch verhältnismässig rasch ausströmende Gas unmöglich mehr den hohen Druck haben, der zur Gewinnung elektrischer Funken infolge Reibungselektrizität beim Ausströmen des Gases erforderlich ist. Übrigens hätte sich das ausströmende Gas ja auch an elektrischen Funken entzünden können, die entweder durch statische oder schwingende Überspannungen in der Nähe der Ventile sich hätten gebildet haben können.

Gegen die obige von Direktor Némethy gegebene Erklärung der Ursache der Echterdinger Katastrophe spricht auch der Umstand, dass, wenn das rasche Ausströmen des Gases die Ursache dieser Katastrophe gewesen wäre, eine solche immer eintreten müsste, wenn beim Landen der Ballone die Ventile zur Entleerung gezogen werden, was ja bekanntlich zum Glück nicht der Fall ist.

Ein weiterer Erklärungsversuch. (Reibung der Innenballone an einander.)

Eine weitere Ursache der Explosion könnte, wie Diplomingenieur Graf Zeppelin jun. in einem Schreiben an mich angibt, auch darin zu suchen sein, dass sich der elektrische Funken, der die Explosion verursachte, im Inneren der grossen Ballonhülle

bildete. Die in dem Zwischenraum zwischen der Aussenhülle und den Innenballonen reichlich enthaltene Mischung von Wasserstoff und Luft, wäre dann als Knallgas durch einen im Inneren aufgetretenen Funken zur Explosion gekommen, wodurch sich von selbst der Anblick der aus den oberen Ventilen herausschlagenden Flammen ergeben hätte. Es hätte dann der elektrische Funken durch Reibung der inneren schlappen Ballonhüllen aneinander entstehen müssen, eine Möglichkeit, die durchaus nicht von der Hand zu weisen ist.

Die Pfaundler'sche Erklärung als die wahrscheinlichste.

Wenn — wie auch Direktor Colsmann in seinem schon mehrfach zitierten Schreiben an mich angibt — eine definitive, endgültige und unantastbare Erklärung der Ursache der Zeppelin'schen Katastrophe wohl kaum wird gegeben werden können, so erscheint nach meinem Ermessen als die wahrscheinlichste aller Erklärungen doch diejenige von Prof. Dr. Pfaundler in Graz zu sein, wonach das Luftschiff kurz vor dem Moment der Explosion eine geneigte Stellung zur Erdoberfläche annahm, worauf dann, wie oben beschrieben, durch die Entstehung eines elektr. Funkens die Explosion erfolgte.

Die Möglichkeit des Zusammenwirkens mehrerer Ursachen.

Eine weitere Möglichkeit besteht natürlich auch darin, dass die eine und die andere der oben geschilderten möglichen Ursachen zugleich miteinander das Unglück verursacht und dadurch das Eintreten der Katastrophe beschleunigt und ihre Heftigkeit vermehrt haben.

Unmöglichkeit der Anstellung künstlicher Versuche.

Ins einzelne gehende künstliche Versuche in dieser Sache anzustellen, verbietet sich von selbst durch die damit verbundene grosse Gefahr für den Experimentator. In der Praxis handelt es sich selbstverständlich in erster Linie darum, dass die aus dieser Katastrophe sich ergebenden Lehren und Winke in Wirklichkeit befolgt und nicht, anderer Sachen wegen, vergessen oder unterschätzt, oder mutwilligerweise überhaupt nicht beachtet werden.

Lehren u. Winke. Vorbeugung der Funkenbildung.

Bei der Besprechung der Lehren und Winke, die sich aus der Zeppelin'schen Katastrophe bei Echterdingen ergeben, drängt sich zunächst vor allem die Frage auf: „Wie kann man der Gefahr der Funkenbildung durch Influenz, welcher der Ballon sehr leicht ausgesetzt sein kann, vorbeugen? Die sehr einfach lautende Antwort geht hier dahin, dass man den Ballon, so oft er der Erdoberfläche nahe ist, stets in gut leitender Verbindung mit ihr erhält, wozu das Anbringen meh-

rerer herabhängender dünner Drahtseile, oder auch nur drahtdurchflochtener Taue mit passenden Metallenden, genügen würde. Die Vorsicht würde gebieten, mehrere solche Seile zu benützen, damit, falls ein Ende zufällig auf eine isolierende Unterlage aufzuliegen käme, ein anderes Ende die Ableitung übernehmen könnte. Auf die Wichtigkeit einer guten Erdverbindung aller Metallteile ist man früher schon dadurch aufmerksam geworden, als Fälle vorkamen, wo die elektr. Entladungen offenbar nicht durch Reibung der Ballonhülle entstanden waren, sondern, wo der Ballon schon während der Fahrt elektrisiert sein konnte, z. B. durch Ballastwerfen, oder wo vielleicht durch Ortsveränderung, oder den Aufprall bei der Landung, starke Spannungsunterschiede zwischen den einzelnen Teilen des Luftschiffs aufgetreten waren. Durch eine gut leitende Verbindung aller Ballonteile unter einander und mit der Erde würden wahrscheinlich alle diese Katastrophen vermieden werden.

Wenn Diplomingenieur Graf Zeppelin jun. in einer der August-Nummern 1908 des „Schwäbischen Merkur“ sich dahin ausspricht, dass ein Luftschiff mit Metallgerippe gegen elektr. Zündungen gesicherter sei als ein gewöhnliches Luftschiff mit isolierender Hülle, so ist aus den obigen Darlegungen ersichtlich, dass dies nicht unter allen Umständen der Fall ist. Die leitende Hülle schützt wohl unbedingt gegen Entladungen zwischen den Teilen des Ballons, gegen Entladungen zur Erde aber nur dann, so lange die leitende Verbindung zur Erde hergestellt ist.

Schutz der ruhenden, verankerten, Ballone.

Was die Frage der Explosionsgefahr bei ruhenden, verankerten Ballonen anbelangt, so ist zunächst darauf zu erwidern, dass die Gefahr der Gasentzündung durch St. Elmsfeuer sich durch leitende Verbindung mit der Erde nicht beseitigen, sondern dadurch eher noch steigern lässt. Hier könnte wohl nur die Bergung des Ballons in einer Ballonhalle oder die Anbringung von Blitzableitern rings um den Ballon Sicherheit schaffen. Also auch das Luftschiff braucht in der Ruhe eine Art von Blitzableiter, vor allem deshalb, weil sich auf einem verankerten Ballon bei gewissen Wetterlagen beträchtliche Elektrizitätsmengen mit hohen Spannungen ansammeln können, wie sie an Turmspitzen, hohen Schornsteinen u. dergl. schon vielfach beobachtet worden sind.

Gefährlichkeit der Staubböen.

Neuere Messungen haben gelehrt, dass besonders hohe Spannungen bei Böen mit Staubentwicklung auftreten und eine solche

Staubbö wurde ja auch in Echterdingen beobachtet. Bei diesen Böen zeigen sich zwischen nicht geerdeten Metallteilen des Luftschiffs elektrische Schwingungen mit Funkenbildungen, ohne dass ein Blitzschlag erfolgt ist, also nur infolge von Induktion stark positiv geladener Wolken. Gleichsam unfreiwillig hat man diese Erscheinungen in letzter Zeit näher erforscht, weil jetzt an verschiedenen Orten täglich, oder fast täglich, Drachen an sehr feinen Drähten mehrere Kilometer hoch gelassen werden, um die meteorologischen Zustände der oberen Luftschichten aufzuzeichnen. Alljährlich kommen hiebei einige Verluste an Drachen und an Drähten durch elektrische Entladungen ohne Blitzschlag vor. Meist wird dann der gesamte Draht bis herab zur Winde, die sorgfältig geerdet ist, geschmolzen; zuweilen zeigen sich auch nur kleine Brandstellen an den Leinen. Diese Drachen wirken also scheinbar blitzanziehend und man hat sogar gelegentlich die Ansicht ausgesprochen, dass man durch einen Drachenaufstieg Gewitterwolken entladen und dadurch ein sich bildendes Gewitter vernichten, oder an seinem Ausbruch verhindern könne. Diese Behauptung wird man zwar nicht aufrecht erhalten können, aber die Erfahrungen in der Funkentelegraphie lehren andererseits, dass man Beschädigungen vermeiden kann, wenn nur die Ableitung so dick genommen wird, dass sie die durchströmende Elektrizitätsmenge aufnehmen kann, und man eine ganz zuverlässige Verbindung mit feuchtem Erdreich herstellt. Gegen solche Induktionswirkungen kann also ein Luftschiff geschützt werden. Gegen direkte Blitzschläge ist ein sicheres Vorbeugungsmittel wahrscheinlich nicht möglich, aber man könnte eine Ableitung ähnlich wie bei explosionsgefährlichen Gebäuden, z. B. bei Nitroglycerinfabriken, Pulvermagazinen u. dergl. versuchen, nämlich ein Metallgerippe, oder ein ganz weitmaschiges Drahtnetz — einen sog. Faraday'schen Käfig — oberhalb des Luftballons anbringen.

Vorbeugungsmittel gegen direkte Blitzschläge.

Verhinderung der Gasausströmung.

Eine weitere Frage, die sich bei dem Studium der Zeppelin'schen Katastrophe von selbst ergibt, ist die: Könnte man die Gefahr der Explosion nicht dadurch bannen, dass man einfach das Ausströmen explosibler Gase verhindern würde?

Wenn ein gewöhnlicher Ballon brennbares Gas aus einer Öffnung ausströmen lässt, so entsteht bei dessen Entzündung eine Flamme, aber keine gefährliche Explosion; denn da die Ballon-

hülle sofort zusammensinkt, so strömt nur das brennbare Gas heraus, nicht aber zugleich Luft, (Sauerstoff) hinein. Bei dem starren System Zeppelin stehen die Verhältnisse anders, und zwar, wie es scheint, ungünstiger. Im Inneren der Aluminiumhülle sind zwei Räume zu unterscheiden, nämlich der ausserhalb der biegsamen Hülle und der innerhalb derselben, der das Wasserstoffgas aufzunehmen und den Auftrieb hervorzubringen hat. Offenbar kann der erstere Raum, den wir kurz den äusseren nennen wollen, von der freien Atmosphäre nicht hermetisch abgeschlossen sein, wenigstens nicht während der Füllung und der Entleerung des inneren Raumes. Es wird nicht zu vermeiden sein, dass der äussere Raum, der ja bei gefülltem Innenraume klein ist, durch Diffusion erhebliche Mengen von Wasserstoffgas aufnimmt und dann nicht nur einen brennbaren, sondern einen explosiblen Inhalt (Knallgas) hat. Wird der Ballon zum Sinken gebracht, so werden die inneren Hüllen nach der freien Atmosphäre entleert. Es steigen Wasserstoffsäulen empor, die ebenso, ja noch leichter als Rauchsäulen durch Luftströmungen zur Seite gebogen und mit den Ausströmungsstellen der elektr. Büschelentladungen in Berührung gebracht werden. Zugleich mit dem Ausströmen des Wasserstoffgases aus dem Innenraum muss Luft in den Aussenraum eingesaugt werden. Wir haben dann im Inneren der Aluminiumhülle wasserstoffgeschwängerte Lufträume nebst wasserstoffhaltigen Räumen, getrennt durch die leicht verletzliche Hülle — eine sehr gefährliche Ladung für den Fall, dass sich die Entzündung ins Innere fortpflanzt. Für den Fernstehenden ist es natürlich schwierig, hier auf Gegenmittel zu sinnen. Vielleicht wäre es nicht ganz ausgeschlossen, diese Entzündungsfortpflanzung durch ähnliche Schutzmittel zu verhindern, wie sie beim Knallgasbrenner mit Erfolg angewendet werden. Ausströmungsdüsen mit übereinandergeschichteten engmaschigen Kupferdrahtgittern würden diesem Zweck entsprechen, wenn sie nur auch schnell genug genügende Gasmassen entweichen lassen würden. Der Querschnitt dieser Düsen könnte ja ziemlich gross gemacht werden, auch könnten ja für den Notfall, der ganz besonders rasche Entleerung der Füllung erfordert, diese schützenden Gitter ausgeschaltet, oder nur dann in Funktion gesetzt werden, wenn elektrische Funkenbildung zu befürchten ist. Die Gefahr der elektr. Zündung ist also, wie ich glaube nachgewiesen zu haben, grösser, als allgemein vermutet wird.

Da nun jede solche Zündung mit Gefährdung von Menschenleben und Vernichtung grosser Werte verbunden ist, so ist es wohl der Mühe wert, alles in Erwägung zu ziehen, was etwa noch in Betracht kommen und dieser Gefahr vorbeugen könnte.

Vorschlag von Direktor Némethy.

Aus diesem Grunde möchte ich noch kurz zum Schluss das erwähnen, was Direktor Némethy von Arad in der „Wiener Luftschifferzeitung“ Nr. 2 vom 15. Januar 1909 als Schutzmittel gegen Explosionen empfiehlt. Zur Verhinderung der Entstehung von Reibungselektrizität durch ausströmendes Gas empfiehlt er, alle Ventilteile, an welchen das ausströmende Gas sich reiben kann, aus solchen Materialien herzustellen, oder mit solchen Materialien zu überziehen, dass keine Reibungselektrizität entstehen kann, ferner alle kantigen und spitzigen Teile an den Ventilen und den anschliessenden Teilen des Ballonkörpers strengstens zu vermeiden, um auf diese Weise ein Überspringen von elektrischen Funken von diesen Teilen auf den Gasstrom zu verhüten.

Ob und inwieweit die oben angeführten Lehren und Winke bei den seitherigen Zeppelin'schen Luftfahrten berücksichtigt worden sind, entzieht sich meiner Kenntnis.

Schlussbetrachtung.

Wenn es auch voraussichtlich unmöglich sein wird, Unfälle wie bei Echterdingen, in der Zukunft vollständig zu vermeiden, so werden doch, bei sinngemässer Anwendung der verschiedenen Schutzvorrichtungen, diese Unfälle sich auf ein Minimum reduzieren lassen. So ist die Zeppelin'sche Katastrophe bei Echterdingen, die so viele schöne Tugenden unseres deutschen Volkes aus dem Schlafe gerüttelt hat, zu einer Art nationalen Glückes geworden. Sie hat uns genötigt, über die etwaigen Ursachen des Unfalls nachzudenken und Mittel zu ersinnen, die künftig solche Katastrophen verhindern sollen.

Möchten bei den künftigen Fahrten der Zeppelin'schen Luftschiffe die gewonnenen Erfahrungen stets berücksichtigt werden, damit wir vor weiteren derartigen Katastrophen bewahrt werden und Deutschland, und speziell unser Schwaben, mit seinem überall hochverehrten Grafen Zeppelin, noch für lange Zeit auf dem Gebiete der Eroberung der Luft und des künftigen Luftschiffverkehrs an der Spitze der Nationen steht!

Inhaltsübersicht.

Seite:

Einleitung 1
Eingebildete, bezw. vermeintliche Gefahren der Elektrizität . . . 1
Statistik über die elektr. Unfälle in Deutschland 2
Statistik über die elektr. Unfälle in preussischen Berg-, Hütten- und Salinenbetrieben vom Jahre 1905 3
Statistik der Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik über elektr. Unfälle in den Jahren 1892 bis 1907 einschl. 4
Versuchte Bemäntelung der elektr. Unfälle 9
Über das Wesen des elektr. Stromes 9
Der menschl. Körper als elektr. Leiter 12
Folgen einer einpoligen Berührung . 14
Einpolige Berührung bei Erdschluss 15
Wirkung der Wechselströme mit hoher Spannung 16
Der elektr. Kurzschluss 17
Die Schienen d. elektr. Strassenbahnen 20
Die unterirdische Stromzuführung mit Hilfe von Kontaktklötzen . . . 21
Absperrung der Räume für Hochspannungsleitungen 22
Die elektr. Hinrichtungen in Amerika 23
Über den Tod durch Elektrizität . 27
Die Elektrizität und der menschliche Körper 29
Angefasste Drähte können nicht mehr losgelassen werden 33
Allgemeines über den Schutz vor elektr. Gefahren 34
Schutz der Arbeiter vor elektr. Gefahren 35
Über den Gebrauch der Isolierzangen 35
Schutzanzug von Artemieff . . . 36

Seite:

Weitere Massregeln zum Schutz vor elektr. Gefahren 38
Durch den elektr. Strom Verunglückte sind wie Scheintote zu behandeln 39
Belehrungen über das Verhalten bei Drahtbrüchen elektr. Stromleitungen in der Nähe von Strassenbahnlinien 41
Gefahren in der Elektrotherapie . . 42
Gefährlichkeit der Röntgenstrahlen 42
Röntgen-Krebs 42
Röntgenstrahlen vor Gericht . . . 44
Vorsicht bei der Lichttherapie . . 44
Gefährlichkeit der ultravioletten Strahlen bei der elektr. Lichtheilbehandlung 45
Vorzüge der elektr. Blaustrahlung . 45
Forderung einer intensiven, gleichmässigen und kalten Lichtquelle 46
Einige besonders merkwürdige Fälle d. Gefährdung durch elektr. Ströme 47
Stromsichere und stromgefährliche Räume 50
Über das Anbringen der Glühlampen 50
Über die Verlegung von Leitungen 51
Gefahren beim Telephonieren . . 51
Steckkontakte 51
Über die durch Elektrizität hervorgerufenen Brandschäden . . . 52
Der elektr. Kurzschluss als Ursache von Brandschäden 53
Sicherungen gegen Kurzschluss . . 54
Über die Anlagen von Hausleitungen 56
Andere Ursachen elektr. Brände als durch Kurzschluss 59
Gefahren der Träger von Telephonleitungen 60
Schutz vor elektr. Unfällen . . . 61

Seite:

Die Blitzgefahr 61
Schutz vor der Blitzgefahr . . . 62
Blitzableiter 63
Blitzschutzvorrichtungen und Freileitungen 64
Hörner-Blitzableiter 65
Relais-Hörner-Blitzableiter 66
Überspannungssicherungen mit Ableitern aus grossen Abkühlungsflächen 69
Die Elektrizität und die Feuerwehr 69
Vorsicht bei Feuerwehrübungen . . 74
Verhaltungsmassregeln bei elektr. Bränden 75
Künstlicher Kurzschluss 76
Schlussanmerkung 77

Anhang.

Einleitung 78
Explosion des Ballons „Humboldt“ . 78
Die Katastrophe bei Echterdingen . 79
Prof. Dr. Hergesell über die Gründe der Katastrophe 79
Graf Zeppelin über die Ursachen der Landung bei Echterdingen . . 79
Amtliche Untersuchung der Katastrophe 80
Über den Vorgang der Explosion . 81
Die atmosphärische Elektrizität als Ursache der Explosion 81
Die atmosphärisch-elektrischen Verhältnisse im Hinblick auf das allgemeine Ballon-Problem . . . 81
Wann gefährdet die atmosphärische Elektrizität einen Ballon? . . . 83

Seite:

Wann herrscht in der Nähe eines Ballons ein hohes Potentialgefälle? 83
Der steigende Ballon 83
Der fallende Ballon und die Möglichkeit der Entstehung elektr. Funken 84
Ausscheiden der obigen Erklärung bei der Zeppelin'schen Katastrophe . 84
Die Glimm- und Büschelentladungen 84
Die schwingenden Überspannungen 85
Die Gefährlichkeit der Nähe von Gewitterwolken für einen Ballon . 85
Ansicht von Prof. Dr. Pfaundler in Graz über die Katastrophe . . 85
Erklärungs-Versuch von Direktor Colsmann in Friedrichshafen . . 87
Erklärungs-Versuch von Direktor Némethy in Arad 88
Ein weiterer Erklärungsversuch (Reibung der Innen-Ballone an einander) 89
Die Pfaundler'sche Erklärung als die wahrscheinlichste 90
Die Möglichkeit des Zusammenwirkens mehrerer Ursachen . . 90
Unmöglichkeit der Anstellung künstlicher Versuche 90
Lehren und Winke. Vorbeugung der Funkenbildung 90
Schutz der ruhenden, verankerten Ballone 91
Gefährlichkeit der Staubböen . . . 91
Vorbeugungsmittel gegen direkte Blitzschläge 92
Verhinderung der Gasausströmung. 92
Vorschlag von Direktor Némethy . 94
Schlussbetrachtung 94

Ionen- und Elektronen-Theorie.

Vortrag von Stabsarzt Dr. **Sedlmair.**

Die Frage, mit welcher wir uns heute beschäftigen wollen, ist die nach dem Wesen des elektrischen Stromes in Flüssigkeiten. Ich möchte Ihnen kurz über die Arbeiten von Clausius, Raoult, van't Hoff, Arrhenius und Nernst berichten, welche zur allgemeinen Anerkennung der Ionentheorie führten, eine Theorie, welche sich als äusserst fruchtbar zur Erklärung der verschiedensten physikalischen und chemischen Tatsachen, sowie einer Reihe biologischer und physiologischer Erscheinungen erwies.

Ich muss, um das Verständnis des Nachfolgenden zu erleichtern, mit den Gasgesetzen und der Lehre vom osmotischen Druck beginnen.

Die moderne Naturwissenschaft nimmt bekanntlich an, dass alle Stoffe aus kleinsten Teilchen (Molekülen) bestehen, zwischen denen grössere oder kleinere Zwischenräume sich befinden. Zur Beurteilung der Grössenverhältnisse der Moleküle mögen ein paar Schätzungen angeführt werden: den Durchmesser eines Kohlensäure-Moleküls schätzt man auf 0,3 Millionstelmillimeter. Wir können Moleküle von solcher Grösse niemals mit unseren Augen, auch nicht mit den schärfsten Mikroskopen der Zukunft, sehen; denn das Kohlensäure-Molekül hat einen Durchmesser, welcher nur ein Tausendstel der für unser Auge eben noch wahrnehmbaren Wellenlänge des violetten Lichtes beträgt. — Die Masse eines Wasserstoff-Moleküls beträgt $16{,}6 \times 10^{-22}$ mg; eine Quadrillion solcher Moleküle wiegen also erst $^1/_8$ mg. Ein Sauer-

stoffmolekül ist 16mal so schwer; ein Eiweissmolekül 14000mal so schwer. — Die Zahl der in 1 mm³ Gas bei 0° enthaltenen Molekeln schätzt man auf $5{,}4 \times 10^{16}$ (also $^1/_{20}$ Trillion).

Die Molekeln nehmen nur einen kleinen Teil des Raumes ein, welchen ein Stoff für unser Auge auszufüllen scheint, bei gasförmiger Kohlensäure von 0° und Atmosphärendruck z. B. $\frac{1}{2000}$ bis $\frac{1}{3000}$; bei Alkohol $\frac{1}{1000}$ bis $\frac{3}{1000}$. Die Zwischenräume haben wir uns also verhältnismässig weit zu denken: bei den festen und flüssigen Stoffen sind sie so klein, dass die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen noch zur Wirkung kommen (diese Kräfte sind es ja, die bei den Flüssigkeiten die Kugelform des Tropfens hervorrufen); bei den Gasen aber sind die Zwischenräume so gross, dass diese molekularen Anziehungskräfte bei gewöhnlichen Drucken nicht mehr in Erscheinung treten. Ein Gas wird nicht durch innere Kräfte zusammengehalten: der Raum, den es einnimmt, wird durch den von aussen wirkenden Druck bestimmt: ein Gas „entweicht", wenn es nicht daran verhindert wird. Dieses Ausdehnungsbestreben der Gase ist die Ursache des Gasdruckes. Wir verstehen unter Gasdruck den Druck, welchen ein Gas auf seine Umgebung ausübt. Worauf beruht nun der Gasdruck?

Die Gasmolekeln sind bei den Temperaturen, die wir kennen, in einer ausserordentlich lebhaften Bewegung; diese molekularen Bewegungen sind zweifacher Art: es sind entweder Drehbewegungen um den eigenen Schwerpunkt, Schwingungen, oder fortschreitende Bewegung im Raum nach allen möglichen Richtungen. Diese ungeordnete Bewegungsenergie der Moleküle nennen wir Wärme; je wärmer ein Stoff ist, desto lebhafter sind die Molekularbewegungen. Die durch den Raum schwirrenden Gasmolekeln entwickeln dabei kolossale Geschwindigkeiten: die kleinen Wasserstoffmoleküle rasen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 1,8 km in der Sekunde dahin, d. i. beinahe 6mal so schnell, als der Schall in der Luft sich fortpflanzt; die schwereren Molekeln bewegen sich langsamer, so haben die Moleküle des Quecksilberdampfes nur den 10ten Teil der genannten Geschwindigkeit. Das fliegende Molekül kommt aber auf seiner Luftreise nicht weit, schon nach Zurücklegung von $\frac{1}{6000}$ mm stosst es durchschnittlich mit einem Nachbarmolekül zusammen.

Durch diese Zusammenstösse wird die Geschwindigkeit des Einzelmoleküls verschieden beeinflusst; wir haben die verschiedensten Geschwindigkeiten des einzelnen Moleküls und wir können bloss von Durchschnittsgeschwindigkeiten reden.

Durch die lebhafte fortschreitende Bewegung der Moleküle, welche durch keine gegenseitige Anziehung gezügelt wird, erklärt sich die Diffusion der Gase, d. i. das Bestreben der Gase, einen ihnen gebotenen Raum vollständig auszufüllen, sowie der Gasdruck. Das Ausdehnungsbestreben der Gase steigt im geraden Verhältnis mit der (absoluten) Temperatur an: bei Erwärmung eines Gases um 1° C dehnt es sich um $\frac{1}{273}$ seines früheren Volumens aus; bei Abkühlung zieht es sich entsprechend zusammen. Bei einer Temperatur von — 273° C (dem sog. absoluten Nullpunkt) kann es sich überhaupt nicht weiter zusammenziehen d. h. es kann bei dieser Temperatur nicht mehr als Gas bestehen, sondern muss bereits flüssig geworden oder gefroren sein.

Das Volumen, die räumliche Ausdehnung eines Gases, hängt bei gleichem Druck nur von der Temperatur ab. Gase üben immer einen Druck auf die Wände des Raumes aus, in dem sie eingeschlossen sind; je dichter das Gas ist, auf einen je kleineren Raum es zusammengepresst ist, desto stärker ist der Gasdruck. Der Druck, den ein Gas bei bestimmter Temperatur und bei einer bestimmten räumlichen Ausdehnung auf seine Wände ausübt, ist nun, wie die Messung zeigt, für alle Gase gleich: der Gasdruck ist unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der Luftart; er hängt nur von physikalischen Bedingungen ab.

1 l Wasserstoffgas wiegt nun (bei 0° und 1 Atmosphäre Druck) 0,0896 g; 1 l Sauerstoff wiegt 16mal; 1 l Chlor 35,3mal soviel. Die Gewichte von gleichen Raumteilen Gas verhalten sich, wie die Molekulargewichte der betr. Luftarten, welche auf anderen Wegen (durch die chemischen Verbindungsgewichte, die spezifische Wärme u. s. w.) festgestellt werden können. Hieraus müssen wir schliessen, dass unter gleichen Bedingungen gleiche Raumteile Gas gleichviel Moleküle enthalten.

Der Gasdruck ist bei einer gewissen Temperatur nur von dem Raum abhängig, den das Gas einnimmt; da nun in einem Raumteil sich immer nur eine gleiche bestimmte Zahl von Gasmolekeln befindet, so können wir auch sagen: der Gasdruck ist

bei bestimmter Temperatur nur von der Anzahl der vorhandenen Gasmoleküle abhängig; haben wir z. B. im Liter die doppelte Anzahl Moleküle, so ist auch der Gasdruck doppelt so gross.

Dieses Gesetz haben wir unmittelbar aus den Resultaten von Messung und Wägung erschlossen. Die Beobachtung bestätigt die Schlüsse, welche wir aus der kinetischen Gastheorie ziehen: wir stellen den Gasdruck uns vor als die Gesamtheit aller der Stösse, welche die durch den Raum dahinrasenden Moleküle beim Anprall an die Wand des Gasraumes ausüben. Die Summe dieser Stösse steht im direkten Verhältnis mit der Anzahl der Molekeln; der Druck wird aber stärker, wenn bei höheren Temperaturen die Bewegungsenergie des einzelnen Moleküls wächst und dadurch der Einzelstoss stärker wird.

Van't Hoff hat nun bewiesen, dass diese Gasgesetze auch für stark verdünnte Lösungen zutreffen.

Wenn wir eine Substanz in einer Flüssigkeit auflösen, so haben die Moleküle des gelösten Stoffes das Bestreben, sich möglichst in dem gebotenen Raum d. h. in dem Lösungsmittel auszubreiten, gerade wie ein Gas, das sich in einem leeren oder von einer anderen Luftart erfüllten Raum ausdehnt: in beiden Fällen findet Diffusion statt. Wenn ich z. B. irgend ein farbiges Salz in Wasser auflöse und darüber sorgfältig reines Wasser (oder eine mit Wasser mischbare Flüssigkeit) schichte, so verteilt sich das Salz allmählig gleichmässig in dem Wasser, und die obere Schichte ist ebenso gefärbt, als die untere; die Diffusion ist in diesem Falle so stark, dass sie sogar entgegen dem Gesetz der Schwere wirkt. Ist die Salzlösung durch eine gewöhnliche Tonzelle oder eine für das aufgelöste Salz durchgängige Membran von dem reinen Wasser getrennt, so bieten diese Trennungsmittel für die Diffusion oder die Vermischung der beiden Flüssigkeiten kein Hindernis; es wird nach längerer Zeit ausserhalb und innerhalb der Tonzelle eine Salzlösung von ganz gleichem Salzgehalt vorhanden sein. Finden aber die Moleküle des gelösten Stoffes bei ihrem Bestreben, sich auszubreiten, einen Widerstand, z. B. eine für diese Moleküle nicht durchgängige, für das Wasser aber durchgängige Membran, so üben sie auf diese Membran einen Druck aus. Diesen Druck heisst man „Stossdruck“ oder osmotischen Druck. Dieser Stossdruck ist nichts anderes als der Gasdruck der gelösten Stoffe;

die Molekeln der gelösten Stoffe bewegen sich in dem Lösungsmittel, wie die Gasmolekeln im leeren Raum; für den osmotischen Druck gelten dieselben Gesetze, wie für den Gasdruck.

Der Gasdruck irgend eines Gases, welches in 1 l ebensoviele Gramm enthält, als sein Molekulargewicht beträgt, beträgt bei 0° 22,4 Atmosphären, gleichgiltig ob wir Sauerstoff, Kohlensäure oder Chlorgas nehmen. Der osmotische Druck einer Normal-Zuckerlösung (d. h. einer Lösung, welche im Liter entsprechend dem Molekulargewicht des Zuckers 342 gr enthält), ist auf 0° reduziert, 22,4 Atmosphären, d. h. genau gleich dem Gasdruck, den der Zucker in Gasform haben müsste; ebensogross ist der osmotische Druck einer normalen Harnstofflösung. Der Stossdruck einer Lösung ist also unabhängig von der chemischen Natur des gelösten Stoffes. Er ist aber veränderlich mit der Temperatur; bei 1° C. Temperaturerhöhung steigt er, wie bei den Gasen, um $\frac{1}{273}$ seiner vorhergehenden Stärke. Wir können also den Stossdruck auf beliebige Temperaturen umrechnen.

Auch die chemische Natur des Lösungsmittels ist belanglos; denn das Lösungsmittel bietet dem gelösten Stoff nur den Raum, worin er sich sozusagen als Gas bewegen kann. Der osmotische Druck ist gleich, ob wir einen Stoff in Wasser, Alkohol, Äther, Benzol u. s. w. auflösen.

Der osmotische Druck einer 1%igen Zuckerlösung beträgt bei 0° 0,647 Atmosphären; der einer 2%igen 1,3 Atmosphären; der einer 34,2%igen 22,4 Atm. Er ist also abhängig von der Konzentration der Lösung, ebenso wie der Gasdruck von der Dichte des Gases. Wir können umgekehrt aus dem osmotischen Druck einer Zuckerlösung ihren Prozentgehalt berechnen. Wir haben oben gesehen, dass Normallösungen organischer Stoffe, d. h. Lösungen, welche im Liter gleichviel Moleküle enthalten, den gleichen osmotischen Druck haben. Derselbe ist, wie der Gasdruck, abhängig von der Zahl der gelösten Moleküle.

Wir schliessen umgekehrt: wenn 2 Lösungen bei gleicher Temperatur den gleichen osmotischen Druck besitzen, wenn sie isosmotisch sind, enthalten sie im Liter gleichviele Moleküle. Hat eine Lösung bei gleicher Temperatur den doppelten Stossdruck, so enthält sie doppelt so viele Molekeln im Liter, als die Vergleichslösung. Die Messung des osmotischen Druckes ist also eine Molekelzählmethode.

Die direkte Messung des osmotischen Druckes ist möglich durch Benützung halbdurchlässiger Membranen; wenn wir eine Lösung durch eine Membran, welche die Salzmoleküle nicht durchlässt, wohl aber für das Lösungsmittel durchgängig ist, von dem reinen Lösungsmittel trennen, so geht von letzterem durch die Membran zur Lösung; die gelösten Stoffe haben das Streben, sich zu verdünnen, wie die Gasmolekeln das Streben, sich auszubreiten. Die angesaugte Flüssigkeitsmenge ergibt dann die Grösse des osmotischen Druckes.

Eine weitere Methode haben die Pflanzenphysiologen de Vries und Pfeffer angegeben: der lebende Protoplasmaschlauch, welcher den Zellwänden der Pflanzenzellen anliegt und den Zellkern umschliesst, ist wohl für Wasser, aber nicht für eine Anzahl von Salzen durchgängig. Bringt man eine Zelle in eine Lösung, welche geringeren osmotischen Druck besitzt, als der Zellinhalt, so saugt dieser Wasser an und die Zelle quillt. Herrscht aber in der zu prüfenden Lösung ausserhalb der Zelle ein höherer Stossdruck, so wird das Protoplasma eingedrückt und der Zelle Wasser entzogen: die Zelle schrumpft, was man unter dem Mikroskop leicht feststellen kann. Alle Lösungen, welche bei den gleichen Pflanzenzellen eben diese Schrumpfung gerade hervorrufen, haben gleichen osmotischen Druck, sind isosmotisch oder isotonisch.

Nebenbei bemerkt ist der osmotische Druck bei den Pflanzenzellen ziemlich gross, er beträgt meist 4—5 Atmosphären; bei den roten Rüben und bei den meisten Bakterien zwischen 16 und 20 Atmosphären; ein solcher Bazillus übt also auf eine tierische Zelle einen Druck aus, welcher 20mal so gross ist, als der Luftdruck an der Oberfläche des Körpers.

Der osmotische Druck kann aber auch indirekt durch technisch einfachere Methoden ermittelt werden z. B. durch die Bestimmung des Grades der Gefrierpunktserniedrigung.

Der Franzose Raoult fand, dass bei dem gleichen Lösungsmittel die Erniedrigung des Gefrierpunkts aller Normallösungen gleich gross und von der chemischen Natur des gelösten Stoffes unabhängig ist. Die Gefrierpunkt-Erniedrigungs-Konstante ist fest bestimmt durch die physikalischen Eigenschaften des Lösungsmittels und lässt sich aus dessen absolutem Schmelzpunkt (T) und der latenten Schmelzwärme (W) berechnen nach der Formel

$\frac{0{,}002\ T^2}{W}$; für Wasser ist die Konstante $\frac{0{,}002 \cdot 273^2}{80} = 1{,}86^0$ C. Reines Wasser gefriert bei 0°; eine wässerige Normalzuckerlösung (34,2%) aber erst bei $-1{,}86^0$ C; eine wässerige Normalharnstofflösung bei der gleichen Temperatur von $-1{,}86^0$; Lösungen, welche nur halb so viel Moleküle enthalten, als eine Normallösung, gefrieren bei $-0{,}93^0$ C. — Der Gefrierpunkt des Seewassers liegt nach Bottazzi bei $-2{,}29^0$; es enthält also 1,28 mal mehr Salz-Moleküle in Lösung, als eine normale Zuckerlösung. — Der Gefrierpunkt des Blutes liegt meist bei $-0{,}56^0$; das Blut enthält also $\frac{1{,}56}{1{,}86}$ oder ungefähr $^1/_3$ soviele Moleküle in Lösung, als eine Normallösung; der osmotische Druck des Blutes bei 0° berechnet sich auf $\frac{2{,}24}{3} = 6{,}705$ Atm.; bei 37° beträgt er um $\frac{37}{273} = 0{,}9$ Atm. mehr, also $6{,}7 + 0{,}9 = 7{,}6$ Atmosphären.

Eine Lösung siedet erst bei höherer Temperatur, als das reine Lösungsmittel. Diese Erhöhung des Siedepunkts einer Lösung ist ebenfalls unabhängig von den chemischen Eigenschaften des gelösten Salzes und des Lösungsmittels; sie bestimmt sich durch die Anzahl der gelösten Moleküle und durch die physikalischen Eigenschaften des Lösungsmittels (absoluter Siedepunkt und latente Dampfwärme). Die Siedepunktserhöhung einer wässerigen Normallösung beträgt $\frac{0{,}002 \cdot 373^2}{536} = 0{,}514^0$ C. Der Siedepunkt von Seewasser, welches eine molekulare Konzentration von 1,28 besitzt (s. o.), liegt also erst bei 100,658°. Eine wässerige Lösung, welche den Siedepunkt des Wassers um 1,028° erhöht, enthält doppelt so viel Moleküle im Liter als eine normale Lösung.

Der Dampfdruck (die Tension) einer Lösung ist geringer, als der des reinen Lösungsmittels. Die Tensionsabnahme einer Normallösung ist gleich dem Tausendsten Teil des Molekulargewichts des Lösungsmittels, also beim Wasser 0,018; die Abnahme des Dampfdruckes verhält sich zur Tension des reinen Lösungsmittels, wie die Zahl der gelösten Moleküle zur Zahl der Moleküle des Lösungsmittels. Das gleiche gilt auch für die Löslichkeitsabnahme einer Lösung.

Alle diese Methoden ermöglichen uns die Bestimmung der relativen Zahl der Moleküle eines aufgelösten Stoffes. Der

Umstand, dass verschiedene Methoden zu den gleichen Ergebnissen führen, erhöht die Beweiskraft der gewonnenen Resultate.

Wenn wir nun die auf diese Weise gefundenen Zahlen der verschiedensten Stoffe vergleichen, finden wir 2 grosse Gruppen. Bei der 1. Gruppe, welcher die meisten organischen Stoffe angehören, ergibt sich, dass wir für sämtliche Normallösungen die gleichen Zahlen erhalten, d. h. dass in allen Normallösungen — wie bei den Gasen von gleicher räumlicher Ausdehnung — gleichviel Moleküle enthalten sind. In einer Normallösung sind nun soviel g eines Stoffes, als das Molekulargewicht dieses Stoffes im festen Zustand beträgt; wir müssen daraus schliessen, dass die Moleküle des gelösten Stoffes auch in der Lösung dem Molekulargewicht des festen Körpers unverändert entsprechen; die Moleküle werden bei der Auflösung in einem Lösungsmittel nicht verändert.

Anders bei der 2. Gruppe, der die meisten anorganischen Verbindungen, sowie alle starken Säuren und Laugen und deren Salze angehören!

Das Molekulargewicht des Kochsalzes in fester Form beträgt 58; wenn ich 58 g Chlornatrium in 1 l Wasser auflöse, habe ich eine Normallösung. Unter der Annahme, dass in der Lösung das Kochsalzmolekül sich nicht verändert, müssten wir nach dem Raoult'schen Gesetz einen osmotischen Druck (bei 0°) von 22,4 Atm., eine Gefrierpunktserniedrigung von 1,85°, eine Siedepunktserhöhung von 0,5° u. s. w. beobachten. Tatsächlich werden diese Zahlen aber beinahe doppelt so gross gefunden, bei stark verdünnten Lösungen genau doppelt so gross. In der Salzlösung sind also beinahe doppelt so viele physikalisch kleinste Teile enthalten als der Formel Na Cl entsprechen würde; die Salzmoleküle der Lösung sind gegenüber dem festen Zustand verändert; es sind grösstenteils aus 1 Molekül 2 kleinste Teile geworden. Man nennt diese Spaltung der Moleküle Dissoziation; die Spaltungsprodukte aber Ionen.

Bei stark verdünnten Lösungen von schwefelsaurem Natron finden wir den osmotischen Druck 3mal so gross, als der Molekularformel des festen Salzes entspricht; das Molekül $SO_4 Na_2$, welche 2 Natrium-Atome gebunden enthält, hat sich in 3 Teile gespalten: in das Ion SO_4 und in 2 Na-Ionen.

Die anorganischen Salze spalten sich bei der Auflösung in Wasser grösstenteils in ihre Ionen, sie dissoziieren sich. Bei den

Gasen kennen wir eine ähnliche (wie wir unten sehen werden, mit der Dissoziation der Lösungen aber nicht identische) Dissoziation schon länger: die Salmiakdämpfe z. B. spalten sich bei Erwärmung — wenn die Bewegungsintensität der Moleküle zunimmt — leicht zum Teil in ihre Bestandteile: Ammoniak und Salzsäuregas; in diesem Falle ist der Gasdruck des dissoziierten Salmiaks viel grösser, als der Molekularformel des gewöhnlichen Salmiaks entspricht; denn es sind in dem Gasgemisch an Stelle 1 Salmiakmoleküls je 1 Mol. Ammoniak und 1 Mol. Salzsäure getreten; diese abnorme Steigerung des Gasdrucks ist der Steigerung des osmotischen Druckes in der Salzlösung analog. Dass in dem Gasgemisch sich wirklich Ammoniakmoleküle befinden, kann mittels Effusion nachgewiesen werden: wenn der Gasbehälter, in welchem ein Gemisch von Gasen eingeschlossen ist, sehr enge Öffnungen enthält, so können nur die kleineren und leichteren Moleküle (in unserem Falle das Ammoniak) die Öffnungen passieren und kann so eine Trennung der (verschiedenen grossen) Teilungsprodukte vorgenommen werden. — Auch durch Änderungen der Farbe kann eine Dissoziation von Gasen sich bemerkbar machen: das farblose Phosphorpentachlorid spaltet sich bei Erhitzung in das ebenfalls farblose Phosphortrichlorid und in das — wie schon der Name sagt — grüne Chlorgas; durch diese Dissoziation nimmt die Gasmischung eine grünliche Färbung an.

Durch die Ionentheorie finden eine Reihe von chemischen und physikalischen Tatsachen eine einfache Erklärung.

Bei den organischen Verbindungen sind die chemischen Reaktionen einer und derselben Atomgruppe äusserst verschieden, je nach der Art und Weise, wie sie mit anderen Atomgruppen verbunden ist; bei den anorganischen Verbindungen aber, die sich durch starke Dissoziation auszeichnen, zeigen sich die gleichen Reaktionen, wenn auch die Bestandteile der Salze in der verschiedensten Weise kombiniert sind; so z. B. wird Chlor durch Höllensteinlösungen aus allen möglichen Verbindungen ausgefällt, mag es beispielsweise an Kupfer, an Natrium oder an Kalium gebunden sein; und Kupfer wird aus allen seinen Salzen durch Schwefelwasserstoff niedergeschlagen. Die organischen Verbindungen besitzen auch in Lösung noch den komplizierten Aufbau des Moleküls, während z. B. das Chlor in einer Kupferchlorid- oder Kochsalzlösung nicht an das Metall

gebunden ist, sondern in beiden Fällen frei als Chlorion sich in der Lösung bewegt. — Alle Kupfersalzlösungen, welche sich dissoziieren, sind blau, weil eben das Kupfer-Ion blaue Farbe besitzt. — Die Lösungen aller übermangansauren Salze (mit farblosen Metallionen) haben genau das gleiche Farbenspektrum, weil eben nur die Farbe des Ions MO_4 in Betracht kommt.

Die Neutralisationswärme aller starken Säuren und Basen ist gleich 13700 Kalorien; sie ist unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der Säuren und Basen; wenn man z. B. Salzsäure und Natronlauge zusammenbringt, wird die gleiche Wärmemenge frei, wie wenn man Jodwasserstoffsäure mit Kalilauge neutralisiert u. s. w. Es wäre nun nach der alten Anschauung völlig unverständlich, warum bei der Verbindung der verschiedensten Säuren mit beliebigen Laugen immer genau die gleiche Erwärmung eintreten soll. Die Ionentheorie gibt hiefür die Erklärung: nach dieser Anschauung treten nur die Wasserstoff-Ionen der Säure mit den Hydroxyl-Ionen der Laugen zusammen zu Wasser und die Säurereste, bezw. die Laugenreste bleiben unverändert als Ionen frei in der Lösung; die Wärmetönung bei Zusammentritt der gleichen Ionen muss dann immer die gleiche sein. Es findet also z. B. nicht der Vorgang $ClH+NaOH=ClNa+OH_2$ statt, sondern $Cl'+H\cdot+Na\cdot+OH'=Cl'+Na\cdot+OH_2$: Cl' und Na· bleiben frei und $H\cdot+OH'=OH_2$. Die Desinfektionswirkung der Quecksilbersalze ist von ihrer Dissoziation abhängig; das stark dissoziierende Sublimat ($HgCl_2$) desinfiziert stärker als das Quecksilber-Cyanid.

Arrhenius hat nun gezeigt, dass die Stoffe unserer ersten Gruppe, welche sich in wässeriger Lösung nicht dissoziieren, den elektrischen Strom nicht leiten; dagegen die anorganischen Salze der zweiten Gruppe, die sich in ihre Ionen spalten, gute Elektrizitätsleiter sind; mit anderen Worten: der Durchgang des elektrischen Stromes durch eine Lösung ist nur möglich, wenn dieselbe freie Ionen enthält; ohne Ionen keine elektrische Leitfähigkeit; die Ionen sind die alleinigen Träger der Elektrizitätsbewegung in den Flüssigkeiten.

Z. B.: völlig reines Wasser leitet den elektrischen Strom nicht; konzentrierte (100%) Schwefelsäure ebenfalls nicht; wohl aber eine verdünnte Schwefelsäurelösung. Das reine Wasser und die reine Säure enthalten keine Ionen; die verdünnte Säure ist aber dissoziiert in ihre Ionen, nämlich H-Ionen und in den

Säurerest SO_4. — Chlorwasserstoffgas (Salzsäure) leitet den Strom nicht; verdünnte Salzsäure aber sehr gut.

Wir wissen, dass alle Lösungen, die die Elektrizität leiten, beim Durchgang des Stromes zersetzt werden, d. h. Elektrolyten sind: die positiven Bestandteile (die Metalle) scheiden sich an der Kathode, an der Austrittstelle des Stromes aus der Lösung, ab; die negativen an der Anode, an der Eintrittstelle des Stroms. Die Moleküle einer Säure oder eines Salzes sind elektrisch neutral, sie enthalten elektrisch positive und negative Bestandteile. Diese Bestandteile sind eben die Ionen, welche bei der Auflösung eines Elektrolyten in Wasser sich trennen. Aus jedem Molekül entstehen mindestens 2 Ionen, ein elektrisch positives und ein negatives. Die positiven Ionen, welche zur Kathode wandern, also in der Richtung des Stromes sich durch die Lösung bewegen, heisst man auch Anionen; die negativen Kationen. Kochsalz löst sich in Wasser grösstenteils in seine Ionen auf, in das positive Natrium-Ion und in das negative Chlorion; das $Na^{\cdot}$-Ion wandert in der Richtung des Stromes; das Cl'-Ion umgekehrt zur Anode. An den Elektroden angekommen, geben die Ionen ihre elektrische Ladung ab, und hiedurch findet eben der Elektrizitätstransport statt. Die Gewichtsmengen des sich an den Elektroden abscheidenden Stoffes sind nach dem Faraday'schen Gesetz einzig und allein abhängig von der Stromstärke, und zwar auch bei den schwächsten Strömen: bei einer Stromstärke von 96,54 Ampère scheiden sich aus einer Kochsalzlösung in der Sekunde an der Kathode 23 mg Natrium und an der Anode 35,3 mg Chlor ab; hiebei ist es ganz gleichgiltig, ob die Lösung 2 prozentig oder 20 prozentig ist. Die durch den elektrischen Strom fortbewegten Mengen sind nicht so unbedeutend, als es auf den ersten Blick erscheint: wenn wir einen elektrischen Strom von $\frac{30}{1000}$ Ampère (= 30 Milliampère) 30 Minuten lang durch eine Kochsalzlösung schicken — es entsprechen diese Ströme der Stromstärke, die unser erster Elektrotherapeut der Gegenwart, Professor Leduc, zur Behandlung der Gelenksteifigkeiten empfiehlt — so passieren während dieser Zeit 22 mg Chlor und 11 mg Natrium jeden Querschnitt der Strombahn (es entspricht dies ungefähr 3 ccm einer 1prozentigen Lösung). Man kann z. B. mittels des elektrischen Stromes durch die unverletzte Haut Medikamente oder Gifte in den Tierkörper

einführen; wenn man die Anode z. B. mit sehr dünner Strychninlösung befeuchtet, so kann man am Kaninchen die typischen Vergiftungserscheinungen (Krämpfe) hervorrufen.

Die Leitfähigkeit einer Lösung hängt bei bestimmter Temperatur nur von der Zahl der vorhandenen Ionen und von deren Beweglichkeit ab. Die Anzahl der Ionen ist bedingt durch den Grad der Dissoziation; bei stark verdünnten Lösungen anorganischer Salze ist die elektrolytische Dissoziation eine vollständige d. h. sämtliche Moleküle sind in ihre Ionen gespalten. Den Grad der Dissoziation einer Lösung können wir durch den osmotischen Druck oder eine der oben erwähnten Molekülzählmethoden festhalten. Arrhenius gab uns noch eine andere Methode an. Wenn wir die Leitfähigkeit einer Salzlösung in verschiedenen Verdünnungen messen, so finden wir, dass dieselbe, auf Normalgehalt umgerechnet (molekulares Leitvermögen), mit dem Grad der Verdünnung zu einem maximalen Grenzwert anwächst; dieser Grenzwert bezeichnet die vollständige Dissoziation; wenn alle Moleküle in die Ionen aufgelöst sind, ist die Leitfähigkeit am grössten. Für Chlorkalium-Lösung fand Kohlrausch bei 18° C:

Verdünnungsgrad	C =	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	$\frac{1}{\infty}$
Leitfähigkeit (pro Äquivalent)	A =	98,2	111,9	122,5	127,6	129,5	131,2 (berechn).
Differenzen			13,7	10,6	5,1	1,9	

Der Grad der Dissoziation ist nun gegeben durch das Verhältnis der Leitfähigkeit bei einer bestimmten Verdünnung und der (grössten) Leitfähigkeit desselben Salzes bei sehr starker Verdünnung. Die Leitfähigkeit einer $^1/_{10}$ normalen ClK-Lösung ist z. B. nach obiger Tabelle 111,9; der Grenzwert 131,2; die Dissoziation bei der genannten Verdünnung beträgt $\frac{111,9}{131,2} =$ 0,86, d. h. 86% der ClK-Moleküle sind in ihre Ionen gespalten. Da nun aus jedem ClK-Molekül 2 Ionen entstehen, so ist die Zahl der physikalisch kleinsten Teile in der Lösung gegenüber der Molekularformel um das 1,86fache gestiegen d. h. statt 1 Mol. ClK haben wir 1,86 kleinste Teile in der Lösung; der osmotische Druck muss nun auch 1,86mal so gross sein, als bei einer nicht dissoziierten Normallösung.

Ich füge Ihnen hier eine Tabelle bei, aus welcher Sie ersehen können, wie gut die auf den verschiedensten Wegen beo-

bachteten Zahlen übereinstimmen. Der Grad der Abweichung von einer nicht dissoziierten Normallösung ist mit i bezeichnet.

	Konzentration	i (osmot. Dr.)	i (Gefrierp.)	i (el. Leitfähigk.)
KCl	0,14	1,81	—	1,86
Salmiak	0,148	1,82	—	1,89
$Ca(NO_3)_2$	0,18	2,48	2,47	2,46
$K_4Fe(NC)_6$	0,356	3,09	—	3,07
$MgSO_4$	0,38	1,25	1,20	1,35
LiCl	0,13	1,92	1,94	1,84

(nach van't Hoff und Reicher).

Die Leitfähigkeit bei vollständiger Dissoziation (d. i. der obengenannte Grenzwert) ist von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher sich die Ionen bewegen; diese ist von der chemischen Natur des Ions abhängig; im allgemeinen haben die schwereren Elemente Ionen mit geringerer Geschwindigkeit; aber die Reibung, welche die Ionen überwinden müssen, hängt ausserdem noch von der Gestalt und Grösse der Ionen ab, welche uns unbekannt sind. Wasserstoff hat das leichteste Ion und mithin die grösste Geschwindigkeit von 318; dann kommt das Hydroxylion mit 174 u. s. w.

Elektrolytische Beweglichkeiten nach Kohlrausch bei 18°:

$H^{\cdot}=318{,}0$ $Na^{\cdot}=43{,}55$ $Li^{\cdot}=33{,}44$ $K^{\cdot}=64{,}67$ $Ag^{\cdot}=54{,}02$
$OH^{1}=174{,}0$ $Cl^{1}=65{,}44$ $Br^{1}=67{,}63$ $^1/_2(SO_4)^1=70{,}0$ $CH_3CO_2^1=35{,}0$

In derselben Zeit, in welcher das Na-Ion sich um 43,55 mm nach der Kathode zu bewegt, wandert das Cl-Ion um 65,44 mm entgegen der Stromrichtung. Ich will nun noch ein Beispiel für den Weg, den die Ionen zurücklegen, anführen: Wenn wir einen Strom durch Elektroden von 1 qcm Fläche und 10 cm Abstand mit 10 Volt Spannung durch eine Salzlösung schicken, und ihn 10 Minuten lang hindurchgehenlassen, so legt das Natrium 2,7 mm, das Cl-Ion 4,14 mm, das H-Ion 19,2 mm, das OH-Ion 10,82 mm zurück. Wir können also mit einem solchen Strom die menschliche Haut in 10 Minuten bis auf die Tiefe von beinahe 2 cm mit einer Säure verätzen.

Die Ionen besitzen elektrische Ladung; diese ist überraschend stark: 1 g Wasserstoff-Ionen hat eine positive Ladung von 96 540 Coulomb; sie ist 1000 mal so gross, als die Stromstärke, welche in 1 Sekunde durch einen Stromkreis von 1 Ohm Widerstand fliesst, der an 96 Daniell'sche Elemente angeschlossen ist.

Dieser Punkt ist auch der wichtigste Unterschied zwischen der Dissoziation der Gase, welche wir oben besprochen haben, und der elektrolytischen Dissoziation der Salzlösungen: bei den Gasen haben wir elektrisch neutrale Spaltungsprodukte; in den Lösungen trennen sich die elektrisch geladenen Komponenten.

Die Ladung aller einwertiger Ionen ist gleich gross; die der zweiwertigen Atomgruppen ist doppelt so gross, als die des Wasserstoff-Ions u. s. w. Wir treffen hier Verhältnisse, wie sie den chemischen Verbindungen eigentümlich sind.

Die Ionen unterscheiden sich in ihren chemischen Eigenschaften sehr wesentlich von den Atomen, bezw. Atomgruppen, welche sie enthalten. Ein paar Beispiele sollen dies erläutern. Das Kupferion ist blau; alle Kupfersalzlösungen, welche das Kupfer in Ionenform enthalten, sind deshalb blau; wenn aber das Kupferion seine positiv-elektrische Ladung an der Kathode abgegeben hat, nimmt es die Eigenschaften des Kupferatoms an, d. h. es schlägt sich als rotbraunes metallisches Kupfer nieder. Das Kupferion unterscheidet sich vom Kupferatom durch die elektrische Ladung, durch seine blaue Farbe und durch seine Löslichkeit in Wasser; es hat mehr die Eigenschaften von Kupfersalzen, als von reinem Kupfer.

Das reine Natriummetall ist von grauer Farbe und besitzt Metallglanz; wenn es mit Wasser zusammenkommt, so zersetzt es unter grosser Wärmebildung und Entwicklung einer roten Lichterscheinung momentan das Wasser und bildet Natronlauge und Wasserstoff; man kann durch Natrium unter Wasser Sprengladungen entzünden. Das Natrium-Ion aber zersetzt das Wasser nicht und passiert ohne Ätzung die Gewebe des menschlichen Körpers. Wenn es aber durch Abgabe seiner elektrischen Ladung an der Kathode sich in das Natriumatom zurückverwandelt hat, zersetzt es das Wasser und entwickelt Wasserstoff, welcher in Gasform entweicht. Diese Erscheinung ist ja allbekannt; wenn ich einen elektrischen Strom durch gewöhnliches Wasser leite, welches ja immer Spuren von Kochsalz enthält, so steigen an der Kathode Luftblasen, bestehend aus Wasserstoff, auf. Bei völlig reinem Wasser findet keine Stromleitung und deshalb auch keine Gasentwicklung statt.

Die chemischen Eigenschaften des Wasserstoff-Ions sind wesentlich verschieden von dem gewöhnlichen Wasserstoff. H-Ionen werden immer frei, wenn sich Säuren in Wasser lösen;

man kann umgekehrt sagen: wenn eine Flüssigkeit Wasserstoff-Ionen im Überschuss enthält, ist es eine Säure. Lösungen, welche frei H-Ionen enthalten, haben sauren Geschmack, färben Lakmus rot, wirken lösend auf viele Metalle, beschleunigen katalyptisch die Zusetzung von Estern und die Inversion von Rohrzucker. Das gewöhnliche Wasserstoffgas verändert Lakmuspapier nicht, greift Metalle nicht an u. s. w. — Die umgekehrten Wirkungen, nämlich die Eigenschaften einer Lauge, besitzt der negativ-elektrische Bestandteil des Wassers, das Hydroxyl-Ion: OH-Ionen färben Lakmus blau, wirken verseifend auf Ester, beschleunigen die Umwandlung von Hyoscyamin in Atropin u.s.w.

Die meisten chemischen Reaktionen sind Ionenreaktionen: die Stärke einer Säure hängt von ihrem Ionenbildungsbestreben ab; deswegen sind die anorganischen Säuren stärker wirksam, als die organischen, welche sich in viel geringerem Grade dissoziieren. Die Lebhaftigkeit einer chemischen Reaktion ist an das Vorhandensein von Ionen geknüpft; deswegen verlaufen die organischen Reaktionen meist langsamer, als die anorganischen.

Wir haben gesehen, dass die Weiterleitung der Elektrizität durch Elektrolyten identisch ist mit der Ionenwanderung; wenn wir seit langer Zeit den Elektrizitätstransport durch Flüssigkeiten „elektrischen Strom" nennen, so gewinnt diese Bezeichnung auf Grund neuerer Anschauungen eine gewisse Berechtigung: wenn auch eine sichtbare Strömung, eine Fortbewegung der Flüssigkeit, nicht stattfindet; es strömt tatsächlich in unsichtbarer Weise etwas hindurch und das sind die Ionen; die positiven Ionen in der Richtung des Stromes und die Anionen in umgekehrter Richtung.

Wenn wir einen Strom durch den Tierkörper schicken, findet eine Verschiebung der dort befindlichen Ionen statt; hiedurch werden chemische Wirkungen hervorgerufen, welche nach Nernst die alleinige Ursache der elektrischen Reizung der Muskeln und Nerven darstellen.

Umgekehrt, wenn im Körper durch irgendwelche Ursache (z. B. Diffusion oder durch die Tätigkeit eines Muskels) Ionenverschiebungen auftreten, so sind elektr. Ströme nachweisbar. Ich will hier nicht näher auf die elektrischen Vorgänge im lebenden Organismus eingehen; ich will nur noch die Nernst'sche Theorie der Konzentrationsketten anführen, welche die

Grundlage zur Erklärung der im Tierkörper entstehenden elektrischen Spannungen bilden.

Wenn wir über eine Salzlösung reines Wasser oder auch nur eine Lösung desselben Salzes von geringerem Salzgehalt schichten, so wird vermöge der Diffusion ein Überwandern des gelösten Salzes von der konzentrierteren Lösung in die weniger konzentrierte stattfinden. Ist nun der gelöste Stoff ein Elektrolyt und also in der Lösung in seine Ionen gespalten, so werden diese Ionen für sich einzeln diffundieren. Nun ist die Reibung, welche die Ionen bei ihrer Wanderung zu überwinden haben, und mithin die Diffusionsgeschwindigkeit bei den einzelnen Ionen verschieden; es wird z. B. in einer Salzsäurelösung das H-Ion 5mal schneller diffundieren als das negative Chlor-Ion; es wird eine Zeit lang die dünnere Lösung positive H-Ionen, die konzentriertere Lösung aber negative Ionen im Überschuss enthalten, mit anderen Worten, es wird zwischen den verschieden konzentrierten Lösungen ein Spannungsunterschied bestehen. —

Wie haben wir uns nun die „elektrische Ladung“ der Ionen vorzustellen? Wenn wir uns vor Augen halten, dass die „elektrische Ladung“ sich nicht gleichmässig kontinuierlich auf die Strombahn im flüssigen Leiter verteilt, sondern nur auf die Ionen allein, indem die Zwischenräume zwischen den einzelnen Ionen keine Ladung enthalten; wenn wir bedenken, dass die Ladung eines Wasserstoff- oder Natrium-Ions immer die gleiche ist; ferner dass dieselbe nur von der chemischen Wertigkeit des Ions, nicht aber seinen sonstigen Eigenschaften abhängig ist; wenn wir uns erinnern, dass die Ionen sich nicht wie die Atome, sondern wie chemische Verbindungen derselben verhalten, so werden wir zu der Vorstellung geführt, dass die sog. „elektrische Ladung“ nicht eine Kraft oder eine Bewegungsform darstellt, sondern einen Stoff, welcher chemische Verbindungen eingeht. Diese elektrische Materie, diese elektrischen Atome, wenn ich so sagen darf, bezeichnet man als Elektronen: es gibt 2 Arten derselben, das positive oder Katelektron, und das negative Elektron, das Anelektron.

Zu der gleichen Anschauung haben auch die moderneren Forschungen über Radium und Radioaktivität geführt. Becquerel fand, dass die radioaktiven Substanzen dreierlei Arten von „Strahlen“ aussenden: die sog. α-, β- und γ-Strahlen; die beiden erstgenannten „Strahlen“arten sind durch Magnete ablenkbar und

haben verhältnismässig geringes Durchdringungsvermögen. Die Radiumforscher nehmen an, dass die α- und β-„Strahlen" keine Wellenbewegungen des Lichtäthers sind, sondern kleinste, mit grosser Geschwindigkeit fortgeschleuderte Massenteilchen, also positive und negative Elektronen. Die Grösse der letzteren wird auf $\frac{1}{1000}$ eines Wasserstoffatoms geschätzt.

Die Anschauung, dass die Elektrizität stofflicher Natur ist, ist schon ziemlich alt. Schon 1730 hat Symmer zur Erklärung der Erscheinungen der Reibungselektrizität angenommen, dass die „Bernstein-Kraft" ein äusserst feines Fluidum, eine äusserst leichtbewegliche Flüssigkeit, darstelle. Die moderne Vorstellung unterscheidet sich von dieser älteren nur dadurch, dass wir für den Elektrizitätsstoff keine ununterbrochene, kontinuierliche Flüssigkeit, sondern, ebenso wie auch bei der übrigen Materie, eine atomistische Struktur annehmen, deren Einzelbestandteile eben unsere Elektronen sind.

Meine Herren, was ich Ihnen bis jetzt vorgetragen habe, sind Ergebnisse exakter Forschung und Theorieen, die auf das Experiment aufgebaut sind. Zum Schluss soll auch unsere Phantasie zu ihrem Teil kommen; ich will noch einem zwar unbewiesenen, hypothetischen, aber äusserst bestechenden Gedankengang hier Raum geben.

Wenn wir uns vorstellen, dass ein positives und ein negatives Elektron sich zu einem elektrisch neutralen Molekül aus elektrischer Materie verbindet, so müsste ein von solchen Elektron-Molekülen eingenommener Raum von ganz verschwindend geringem Gewicht, selbst elektrisch neutral, aber elektrisch polarisierbar sein, d. h. diejenigen Eigenschaften besitzen, welche wir für den Lichtäther annehmen. Unter dieser Annahme wäre der Lichtäther nichts anderes als ein Gas aus elektrischer Materie; das Medium, welches unser Sehen überhaupt ermöglicht, welches uns Kunde gibt von den entlegensten Sonnen und Fixsternen, welches uns die Wunder des Mikroorganismus offenbart, der einzige Stoff, dem wir Allgegenwart zuschreiben bis zu den äussersten Grenzen des Weltalls wäre dann die elektrische Materie.

Analogien zwischen Gasen und Lösungen.

Volumen eines Gases = Raum, der das Gas enthält.	Flüssigkeitsmenge (in Litern), in welcher eine Substanz gelöst ist.
Normalvolumen = 1 Grammmolekül Gas im Liter.	Normallösung = 1 Grammmolekül des gelösten Stoffes im Liter Lösungsmittel.
Gasmoleküle.	Moleküle (bezw. Ionen) des gelösten Stoffes.
Diffusion der Gase = Ausbreitungsbestreben.	Diffusion des gelösten Stoffes.
Gasdruck (in Atmosphären)	= Stossdruck, osmotischer Druck des gelösten Stoffes.
Effusion der Gase (Ausströmen durch kleinste Öffnungen).	Durchgang gelöster Stoffe durch (verschieden stark gespannte) Membranen.

Vergleich zwischen einer Wasserleitung u. einem elektr. Stromkreis.

Wasser	positive Elektrizität.
Druckunterschied an den verschied. Stellen der Leitung.	Spannungsunterschied, Potentialdifferenz an versch. Stellen der Leitung (gemessen in Volt).
Wasser fliesst von Stellen höheren Druckes zu solchen nieder. Drucks.	Posit. Elektr. fliesst von Stellen höher. posit. Spannung zu solchen von niederer Spannung (z. B. vom posit. zum negativen Pol).
Wassermoleküle	positiv geladene Ionen (Kationen).
Wassermenge, welche von einer Leitung geliefert wird.	Elektrizitätsmenge, die durch den Stromkreis geht (gem. in Coulombs).
Anzahl der Liter Wasser, welche in 1 Sek. durch jeden Querschnitt der Leitung fliessen.	Anzahl der Coulombs, welche in 1 sec. jeden Querschnitt der Leitung passieren = Ampère's.
Widerstand, der bei einer Rohrleitung durch Reibung vorhanden ist; je kleiner der Durchmesser des Rohres, desto weniger Wasser fliesst in der Sek. hindurch oder desto grösserer Druck ist notwendig.	Widerstand in metallischem Leiter (1 Ohm = 1 ml. Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt). Je dünner der Draht, desto weniger Elektr. kann hindurchtreten oder eine desto grössere Spannung ist zur Überwindung des Widerstandes erforderlich.

Über den Bildungswert der mathematischen Wissenschaften.

Vortrag von Dr. **E. Löffler**, Ulm.

Unser Verein bezeichnet als seinen Zweck die Pflege der Mathematik und der Naturwissenschaften und es ist fast selbstverständlich, dass sich das Interesse überwiegend den letzteren zuwendet: denn für irgend einen Zweig der Naturwissenschaften hat wohl jeder Gebildete Neigung und selbst Liebe. Kommt aber die Rede auf die Mathematik, so machen die meisten eine höfliche Verbeugung und rühmen die erstaunliche Kraft ihrer Methode, halten sich aber im übrigen in respektvoller Entfernung. Viele schätzen sie zwar wegen ihres Nutzens, fragen aber nicht gern nach der Herkunft ihrer Gaben; nur wenige überschätzen sie als geheimnisvolle Äusserung einer mystischen Geisteskraft, wie z. B. Novalis, der in romantischer Überschwenglichkeit einmal sagt: „Das Leben der Götter ist Mathematik. Alle göttlichen Gesandten müssen Mathematiker sein. Reine Mathematik ist Religion. Die Mathematiker sind die einzig Glücklichen."

Diese olympische Ausnahmestellung der Mathematik ist ohne Zweifel einerseits in der symbolischen Sprache begründet, in welcher diese Wissenschaft ihre Wahrheiten verkündet, andererseits aber auch in dem alten Vorurteil, dass zum Verständnis der Mathematik eine besondere Begabung nötig sei. Es ist selbstverständlich, dass man, um Mathematik als Spezialfach zu studieren, besonders dafür begabt sein muss, wie man besonders musikalisch sein oder ein hervorragendes Zeichentalent haben muss, um Berufsmusiker oder Zeichenlehrer zu werden. Aber wie je-

der die einfachsten Gesetze der Harmonielehre oder der Perspektive verstehen und etwas Klavier spielen oder zeichnen lernen kann, so ist auch jedermann, der gesunden Menschenverstand besitzt, imstande, die Schulmathematik zu erlernen. Ich hoffe, im Verlaufe meiner Ausführungen dies zu beweisen und zu zeigen, dass die Mathematik sich als Bildungsmittel für den modernen Menschen neben jedem anderen Zweig der Wissenschaft sehen lassen kann und für manche Gebiete menschlicher Bildung an erster Stelle steht.

Es hat von jeher Männer gegeben, die das aufs nachdrücklichste betont und sich zu Vorkämpfern der Mathematik gemacht haben. Denken wir an Plato, der als erster die methodische Eigenart der Mathematik, dieser „göttlichen Kunst" hervorhob, und der sie um so mehr bewunderte, je älter er wurde; oder an die Pythagoreerschule, die von ihren Jüngern in erster Linie Beschäftigung mit Mathematik und Musik verlangte; oder an Philipp Melanchthon, der nachdrücklich die Wichtigkeit der Mathematik für die Erkenntnis der Wahrheit betonte, endlich an Kant, an Napoleon I, die auf das gründlichste Studium der Mathematik einen hohen Wert legten. Wenn auch heute die Mathematik in der Schule als gleichberechtigtes Fach neben den Sprachen steht, so haben wir doch die Epoche des Verkennens mathematischer Bildung noch nicht ganz überwunden und wenn auch der harte Spruch: „Mathematicus non est collega" nicht mehr gehört wird, so mag es doch noch manchen geben, der einer Zeile eines lateinischen Schriftstellers mehr bildende Kraft zutraut als der ganzen Mathematik. Unter denen, die in neuerer Zeit offen den Bildungswert der Mathematik geleugnet haben, steht Schopenhauer obenan; seine Einwände zeigen jedoch nur, dass er das Wesen dieser Wissenschaft nicht begriffen hatte.

Lassen Sie mich nun versuchen, Ihnen den hohen Wert der Mathematik für die moderne Bildung vor Augen zu führen und Ihnen zu zeigen, wie die mathematische Denk- und Anschauungsweise in vielen auch scheinbar fernliegenden Zweigen der Wissenschaft sich immer mehr als fruchtbringend und unentbehrlich erweist. Was nennt man denn allgemeine Bildung? Die meisten verlangen einige Sprachkenntnisse, Beschäftigung mit Geschichte, Kunst, Philosophie, Wirtschaftslehre, Naturgeschichte; an die Mathematik pflegt niemand zu denken. Aber allgemeine Bildung ist doch nicht Bildung in möglichst vielen

Einzeldingen, und denjenigen, der eine bestimmte Summe von Einzelkenntnissen besitzt, dürfen wir noch nicht ohne weiteres gebildet nennen. Nein, derjenige ist gebildet, dessen Geist befähigt ist, über jeden Wissensstoff, den er sich aneignen will, Herr zu werden. Bildung ist eine Reife des Denkens und Wollens, eine geistige und sittliche Ausbildung der Persönlichkeit, welche den Menschen befähigt, sich mit Erfolg für die besonderen leitenden Berufe vorzubereiten, deren Aufgabe es ist, die Nation vorwärts zu führen.[1]) Allgemeine Bildung ist Bildung in der Methode. Aber bei dem schweren Kampf ums Dasein ist es notwendig, diese Formung des Geistes mit möglichst wenig Aufwand an Zeit und Kraft zu erreichen, damit der junge Mann sich bald wirtschaftlich selbständig machen kann. Gerade diese Forderungen aber erfüllt die Mathematik, die bei richtigem Betrieb nur eine sehr kleine Menge von Gedächtnisstoff fordert, in ganz hervorragender Weise; und zu diesem latenten Geistesvermögen, das das Studium der Mathematik schafft, kommt noch die Tatsache, dass es im Leben der Gegenwart viele Erscheinungen gibt, deren Wesen nur der mathematisch Gebildete verstehen kann, die aber dem in mathematischen Anschauungen Ungeübten stets fremd und rätselhaft erscheinen müssen.

Man wird mir jedenfalls entgegnen, dass heute niemand mehr den Nutzen der Mathematik als Hilfswissenschaft leugne; man denkt dabei an gewisse Einzelkenntnisse, die der Naturforscher, der Techniker u. s. w. haben muss, um seine Wissenschaft mit Erfolg zu betreiben. Ich unterschätze diese Einzelkenntnisse nicht; aber sie sind nicht das wichtigste, sie haben wenig bildenden Wert. Worauf es ankommt, das ist die mathematische Anschauungsweise, die mathematische Methode, der mathematische Sinn, und deshalb darf man sich nicht damit begnügen, die Mathematik als Hilfswissenschaft zu pflegen, sondern man muss in die Gedankengänge der reinen Mathematik einzudringen versuchen: sie führen ins Allerheiligste des menschlichen Geistes. Wenn wir daher von dem Bildungswert der mathematischen Wissenschaften sprechen, so müssen wir einerseits ihren Nutzen für das Verständnis der modernen Kultur, andererseits die Bedeutung der reinen Mathematik für die Ausbildung des menschlichen Geistes betrachten.

[1]) Vergl. Fr. Meyer: Mitteilungen aus dem math. Lehrplan des Stadtgymnasiums zu Halle a. S. 1891 (Programm).

Der Laie ist leicht geneigt, die Mathematik in erster Linie als Dienerin der Naturwissenschaften anzusehen. Wir müssen jedoch hier eine wichtige Unterscheidung aufstellen. Mit den sogenannten beschreibenden Naturwissenschaften hat die Mathematik nur wenig Berührungspunkte; sie unterscheidet sich von ihnen sowohl in methodischer als auch in sachlicher Beziehung, da die Naturwissenschaften nur aus der Erfahrung schöpfen, was bei der Mathematik nicht in demselben Mass der Fall ist. Und doch haben sich in neuerer Zeit mancherlei Berührungspunkte gefunden. Ich erinnere z. B. für die Zoologie an die merkwürdige Anordnung der Linien, welche man im Längsschnitt an den Gelenkenden der Knochen, z. B. des Oberschenkelknochens, beobachtet; diese Linien fallen zusammen mit den Trajektorien der Zug- und Druckwirkungen, wie man sie auch durch theoretische Betrachtungen für einen Krahn von der Form des Oberschenkels findet. In der Botanik hat man schon öfters versucht, die Blattformen mit Hilfe mathematischer Begriffe zu beschreiben und es fehlt nicht an Versuchen, den Bau des pflanzlichen (und auch tierischen) Körpers und seiner Organe mit dem goldenen Schnitt in Beziehung zu setzen. Doch muss man sich sehr hüten, diesen Versuchen einen zu grossen Wert beizulegen; im allgemeinen steht die Mathematik aus den angeführten Gründen den biologischen Wissenschaften ferner als jedem anderen Zweig der Naturwissenschaft.

Dagegen ist die Mathematik ganz unentbehrlich für das Verständnis der Mineralogie und Geologie, insbesondere für die Lehre von den Kristallen. Die geometrische Kristallographie hat in den letzten Jahren einen ungeahnten Aufschwung genommen,[1]) und es sind mannigfache Beziehungen zwischen ihr und scheinbar ganz fernliegenden Gebieten der reinen Mathematik aufgefunden worden, so z. B. führen die in der Kristallographie verwendeten Raumgitter zur Grassmann'schen Ausdehnungslehre, zur Vektoranalysis, zu der Möbius'schen Theorie der geometrischen Netze und selbst der abstrakteste Teil der Mathematik, die Zahlentheorie, steht, wie namentlich Bravais und Sohncke gezeigt haben, in engen Beziehungen zur Kristallographie.[2])

[1]) Vergl. z. B. E. Sommerfeldt: Geometrische Kristallographie. Leipzig 1906.

[2]) Vergl. auch Fr. Haag: Gittervektoren. Programm der Wilhelms-Realschule. Stuttgart 1907.

Es ist selbstverständlich, dass derjenige, welcher mit den Grundgedanken der analytischen Geometrie und der Trigonometrie nicht vertraut ist oder das Anschauungsvermögen durch das Studium der Raumgeometrie und der Projektionsmethoden nicht ausgebildet hat, den Schönheiten der Kristallformen stets innerlich fremd gegenüber stehen wird.

Das wichtigste Anwendungsgebiet der Mathematik ist die Physik und die Astronomie. Es ist hier natürlich nicht möglich, auch nur oberflächlich die wichtigsten mathematisch-physikalischen Theorien zu besprechen. Ich möchte nur versuchen, in allgemeinen Umrissen zu charakterisieren, was der Physiker vom Mathematiker erhält.[1]) Es ist klar, dass der Mathematiker dem Physiker nicht etwa neue Wahrheiten enthüllen kann; er kann ihm nur helfen, sie im Geiste vorauszusehen. Alle Gesetze sind aus der Erfahrung abstrahiert; um sie aber auszudrücken, brauchen wir eine besondere Sprache. Der erste Grund, weshalb der Physiker die Mathematik nicht entbehren kann, ist also der: sie schafft ihm die einzige Sprache, die er sprechen kann; denn unsere gewöhnliche Sprache ist viel zu arm, um so feine, präcise und vielsagende Beziehungen auszudrücken. Zweitens aber braucht der Physiker die Mathematik zum Verallgemeinern; die Erfahrung ist persönlich, das Gesetz allgemein; die Erfahrung ist annähernd, das Gesetz genau; die Erfahrung wird getrübt durch viele Nebenumstände, das Gesetz trifft den Kern der Sache; die Erfahrung ist zahlreichen Irrtümern ausgesetzt, das Gesetz steht über der Materie und hält sich an die reine Form. Der mathematische Geist allein ist es, der solche Gesetze formulieren kann; er sammelt die zerstreuten Glieder und haucht dem dürren Gerippe von Tatsachen den belebenden Odem ein; die Mathematik ist nicht nur eine auf viele Gegenstände anwendbare Methode, sondern sie ist die höhere Seite der Dinge selbst.

Es gibt jedoch noch einen dritten Grund für die Notwendigkeit mathematischer Betrachtung in der Physik, und dieser scheint mir der wichtigste zu sein. Das Hauptbestreben des Physikers geht dahin, die aus der Erfahrung entnommene zusammengesetzte Erscheinung in eine sehr grosse Anzahl von

[1]) Vergl. für das folgende: Poincaré, Sur les rapports de l'analyse pure et de la physique mathématique. Acta mathematica Bd. 21 (1897) p. 331 ff.

elementaren Erscheinungen aufzulösen. Dies geschieht sowohl in der Zeit als auch im Raum. Nehmen wir ein Beispiel. Der Fall eines Steins auf die Erde ist gewiss eine einfache Erscheinung; aber derjenige, welcher vom Begriff des Differentials nichts weiss, wird sie nie ganz verstehen. Um sie zu erfassen, zerlegen wir die Fallzeit in unzählig viele kleine Zeitteilchen, Differentiale nennt sie der Mathematiker; das Verhältnis des in einem solchen Zeitteilchen durchlaufenen Wegs zu eben diesem Zeitteilchen nennt der Physiker die Geschwindigkeit; der Mathematiker nennt es einen Differentialquotienten; ebenso ist die Beschleunigung ein Differentialquotient. Diese scheinbar so einfachen Begriffe sind also Grenzwerte und auf dem Begriff des Grenzwerts beruht die ganze Differential- und Integralrechnung. Wenn nun der Physiker eine Erscheinung in ihre elementaren Bestandteile zerlegt, so nähert er sich damit immer mehr den unendlich kleinen Differentialen des Mathematikers; statt die ganze Folge der Erscheinungen zu studieren, was ungemein schwierig, wenn nicht unmöglich wäre, beschränkt er sich darauf, eine Gleichung zwischen Differentialen, eine sogenannte Differentialgleichung, zu untersuchen, und daher kommt es, dass die mathematische Behandlung jedes physikalischen oder astronomischen Problems auf eine Differentialgleichung führt. Wenn aber das Differential eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Atom hat, so darf man nicht vergessen, dass das Atom materialistisch, das Differential idealistisch ist; das Atom ist ein Abstraktionsbild, das Differential ist der fundamentale Anfang und die letzte kompetente Instanz für alle die Operationen, welche die Erkenntnis von realen Vorgängen zwar nicht liefern, aber vorbereiten. Denn die Differentialgleichung ist keiner experimentellen Prüfung zugänglich. Man muss das der Beobachtung unterworfene Endliche zusammensetzen aus einer Summe von jenen infinitesimalen Grössen und durch rechnerische Kombination die komplizierte Tatsache ableiten, die wiederum der Beobachtung und Verifikation zugänglich ist. Diesen Prozess bezeichnet man als Integration und das ist wieder Sache des Mathematikers. So ist z. B. das Newton'sche Gravitationsgesetz eine Differentialgleichung, aus der durch Integration die drei Kepler'schen Gesetze hervorgehen; die Maxwell'schen Gleichungen sind Differentialgleichungen, aus denen alle elektrischen und optischen Erscheinungen abgeleitet werden können.

Ich hoffe durch diese Ausführungen gezeigt zu haben, dass ein gründliches Verstehen der physikalischen und astronomischen Erscheinungen nur für den möglich ist, der das Wesen des Differentials versteht und funktionales Denken sich angeeignet hat. Die Mathematik ist die einzige Sprache, in der sich die grossen Naturgesetze formulieren lassen, das einzige Mittel, sie zu verstehen; dazu genügt es aber nicht, dass man „Dreiecke aus möglichst unpassend gewählten Stücken konstruieren, dass man Logarithmentafeln wälzen und trigonometrische Formeln hersagen kann:“ [1]) dazu gehört ein Eindringen ins Wesen der Mathematik. Viele feiern die Namen eines Newton, eines Leibniz, eines Descartes; wenige nur haben eine tiefere Vorstellung von dem, was diese Männer uns in der Differentialrechnung und analytischen Geometrie geschaffen haben. Selbst von den grössten unserer Zeit wird das verkannt. Mommsen sagte einmal in einer Rede in der preussischen Akademie der Wissenschaften: „Wir werden auch ferner das Ideal menschlicher Gesittung fortfahren auf gut lateinisch Humanität und denjenigen, welcher den Homer meint durch die Lehre von den Kegelschnitten ersetzen zu können, auf gut griechisch einen Banausen zu nennen.“ Freilich, die unzähligen Sätze über Kegelschnitte machen das Wesen der Mathematik nicht aus, ebensowenig wie das Deklamieren homerischer Gesänge oder horazischer Oden ein Zeichen klassischer Bildung ist.[2]) Aber wer diese Meisterwerke klassischer Dichtkunst lesen will, muss zuerst Wörter und unregelmässige Verben lernen und ebenso ist das Studium der Kegelschnitte eine notwendige Vorübung zum Erfassen des Funktionsbegriffs, der nicht nur die Naturwissenschaften, sondern auch das gesamte Geistesleben beherrscht. Andererseits ist ein auffallendes Beispiel dafür, dass Einzelkenntnisse noch nicht den Mathematiker machen, Michael Faraday, der nie Mathematik studiert hatte. Aber er hat in hervorragender Weise mathematisch gedacht und verdankt dieser genialen Geisteskraft seine grossen Erfolge.

Bei den folgenden Anwendungen der Mathematik können wir uns etwas kürzer fassen. Von hervorragender Wichtigkeit für die Kenntnis unserer Erde sind Geodäsie und Geophysik:

[1]) Lindemann: Lehren und Lernen in der Mathematik. Akad. Festrede. München 1904.

[2]) Lindemann: a. a. O. pag. 16.

ohne gründliche mathematische Kenntnisse ist aber das Studium dieser Wissenszweige unmöglich. Ich erinnere nur an die Vermessung der Erdoberfläche und an die Kartographie; die verschiedenen Methoden zur Abbildung der krummen Erdoberfläche hängen aufs engste zusammen mit der Theorie der komplexen Grössen, die ihrerseits den Forderungen der Praxis manche fruchtbaren Gesichtspunkte verdankt.[1]) Und wer etwa ein Buch über Erdbebenkunde aufmacht, kann sich überzeugen, dass ohne mathematische Vorbildung ein Eindringen in den Gegenstand unmöglich ist.

In neuerer Zeit ist, namentlich durch Nernst und van't Hoff, die Mathematik in ganz hervorragender Weise auf die Chemie angewendet und dadurch die neue Wissenschaft der theoretischen oder physikalischen Chemie geschaffen worden.[2]) Ich erwähne vor allem die Theorie der Lösungen, die durch mathematische Analogien mit der Theorie der Gase in Zusammenhang gebracht worden ist; ferner die Gesetze des chemischen Gleichgewichts und der umkehrbaren Prozesse, sowie die Lehre von der Reaktionsgeschwindigkeit: Theorien, deren Verständnis ohne mathematische Bildung unmöglich ist. Die van't Hoff'sche Lehre von der Anordnung und Lagerung der Atome und Moleküle im Raum hat mit einem Schlag auf die ganze organische Chemie ein neues Licht geworfen und die Beziehungen zwischen den isomeren Verbindungen aufgeklärt: und doch ist dies eine rein mathematische, dem Wesen der Chemie ursprünglich fremde Anschauungsweise. Ganz besonders aber weise ich hin auf die Verwendung thermodynamischer Untersuchungsmethoden in der Thermochemie und Elektrochemie, deren konsequente Durchführung sich als ausserordentlich fruchtbringend erwiesen hat und deren Ausbau sich an die Namen Ostwald, Planck, Nernst und van't Hoff knüpft.

Öffnet man heutzutage ein Werk über Physiologie, so wird man überall mathematischen Formeln und mathematischen Betrachtungen begegnen; für den Mediziner ist deshalb ein gewisses Mass mathematischer Bildung unumgänglich notwendig.

---

[1]) Siehe z. B. Holzmüller: Einführung in die Theorie der isogonalen Verwandtschaften. Leipzig 1882.

[2]) Siehe z. B. Nernst: Theoretische Chemie. Stuttgart 1898; oder Van't Hoff, Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie. Braunschweig 1898—1900.

Ich erinnere nur an die Mechanik der Gliederbewegung, an die Lehre vom Blutumlauf, wo nachgewiesen wurde, dass die Verzweigung der Blutgefässe unter ganz bestimmten Winkeln erfolgt, deren Grösse eine Funktion des Blutdrucks und der Blutgeschwindigkeit ist[1]): auch die merkwürdige Form der roten Blutkörperchen, die annähernd die Gestalt des Rotationskörpers einer sogenannten Cassini'schen Kurve haben, verglichen mit ihrem Zweck, eine möglichst grosse Oberfläche zu bieten, gibt zu denken und erinnert an ein Problem der Variationsrechnung. Ferner erwähne ich die Gesetze der physiologischen Optik und Akustik, und im Zusammenhang damit die Harmonielehre: sie alle bergen erstaunlich viele mathematische Gedanken.

Zwischen der Physiologie und der Psychologie hat sich in den letzten 50 Jahren ein Grenzgebiet gebildet, die Psychophysik;[2]) bestimmte Kategorien von Problemen sind durch E. H. Weber, Fechner und Wundt der mathematischen Behandlung zugänglich gemacht worden. Schon Fechner hat eine umfangreiche mathematische Theorie der psychischen Messmethoden entwickelt, d. h. derjenigen Methoden, welche gesetzmässige Beziehungen zwischen der quantitativen Veränderung der äusseren Sinnesreize und den quantitativen Veränderungen unserer Auffassung der entsprechenden Empfindung feststellen: namentlich das Gauss'sche Fehlergesetz, die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die Integralrechnung werden von ihm in ausgiebiger Weise dabei benützt. Berühmt ist das sogenannte Weber'sche Gesetz, wonach das Differential eines Reizes, d. h. der Unterschied zweier nahezu gleichen Reizgrössen der Reizstärke selbst proportional sein muss, wenn die Empfindung sich gerade noch merklich ändern soll. Durch Integration dieser Differentialgleichung entsteht das Fechner'sche Gesetz, wonach die Empfindung in demselben Verhältnis wächst wie der Logarithmus des Reizes. Doch möchte ich hier die Bemerkung nicht unterdrücken, dass man mit den Versuchen, die Mathematik auf psychologische Probleme anzuwenden, nicht zu weit gehen sollte, sondern dass zunächst noch eine gewisse Vorsicht und ein gewisser Skepticismus ratsam ist. In noch grösserem Masse gilt diese Bemerkung für eine der jüngsten Anwendungen der Ma-

[1]) Siehe Reuleaux. Der Konstrukteur. Braunschweig 1899.

[2]) Vergl. W. Wundt: Grundzüge der physiologischen Psychologie. 5. Auflage. I. Bd. p. 466 ff.

thematik, nämlich den sogenannten Logikkalkül, wo logische Operationen der mathematischen Behandlung zugänglich gemacht werden.[1]) Der Grundgedanke dieser von einem englischen Mathematiker G. Boole stammenden Betrachtungsweise,[2]) die in neuerer Zeit aber auch in Amerika (durch Peirce) und in Deutschland (durch E. Schröder) wesentlich vervollkommnet wurde, ist ungefähr folgender: Ursprünglich hat sich die Logik an die Wortsprache angelehnt; nachdem sich aber in vielen Disziplinen gezeigt hatte, wie förderlich es ist, sich für bestimmte Untersuchungen eine eigene Zeichensprache zu bilden und die fundamentalsten Sätze in Formeln einzukleiden, hat man für die Logik eine eigene Buchstabenrechnung, eine Art Algebra, gebildet. Durch diese finden die Gesetze des folgerichtigen Denkens ihren schärfsten und kürzesten Ausdruck, und die Logik wird von all den Fesseln befreit, in welche die Wortsprache den menschlichen Geist geschlagen hat: namentlich wird verhindert, dass, wie es bei Benutzung der Wortsprache fast nicht zu vermeiden ist, einem und demselben Wort verschiedene Bedeutungen beigelegt werden. Alle Urteile werden in die Form von Gleichungen gebracht und es wird mit ihnen gerechnet, als wären ihre Umfänge Rechnungsgrössen. Hat man dann eine Reihe von solchen Gleichungen, so kann man durch mathematische Methoden untersuchen, ob sie vereinbar sind oder nicht.

Mit den bisherigen Ausführungen sind aber die Anwendungsgebiete der Mathematik bei weitem noch nicht erschöpft. Ich kann es mir wohl versagen im einzelnen darauf hinzuweisen, dass für den Techniker, den Architekten, den Ingenieur, den Offizier, den Seemann, den Luftschiffer eine gründliche mathematische Bildung notwendig ist: niemand wird das bestreiten. Sie alle müssen die Einflüsse, denen ihre Bauten, ihre Instrumente u. s. w. ausgesetzt sind, richtig beurteilen, gegen einander abwägen und graphisch darstellen können, um darauf ihre Entschlüsse zu gründen. Das setzt aber die Fähigkeit voraus, mathematisch zu denken und nicht bloss unverstandene Formeln anzuwenden: ein volles Verständnis graphischer Darstellungen ist nur demjenigen möglich, der die Be-

[1]) Vergl. Schröder, E. Vorlesungen über die Algebra der Logik, 3 Bde., Leipzig 1890 ff. oder kürzer, Derselbe: Der Operationskreis des Logikkalküls. Leipzig 1877.

[2]) Übrigens ist sie schon von Leibniz angeregt worden.

griffe der Funktion, des Differentialquotienten und des Integrals erfasst hat.

Vielleicht erregt es jedoch einige Verwunderung, wenn ich behaupte, dass die Mathematik auch anfängt, Einfluss auf das politische und gesellschaftliche Leben und eine durchgreifende Bedeutung für die Geisteswissenschaften zu gewinnen. Ich meine dabei selbstverständlich nicht die Notwendigkeit, etwas rechnen zu können und ein wenig Geometrie zu verstehen; den hohen Namen Mathematik sollte man, auch in der Schule, nicht auf diese elementarsten Volksschulfächer anwenden. Nein, ich meine die mathematische Denkweise, die überall auftritt: in der Statistik und dem Versicherungswesen, die für unsere Gegenwart so wichtig sind; in der Nationalökonomie, in der Handelswissenschaft, in der Rechtswissenschaft und in der Gesellschaftslehre oder, wie sie von A. Comte getauft wurde, der Sociologie: überall finden wir mathematische Anschauungen und Methoden. Ich will versuchen, diese Behauptung an einigen Beispielen zu beweisen und diejenigen mathematischen Grundgedanken aufzudecken, die dabei vor allem in Betracht kommen.

Zunächst handelt es sich dabei um die Hauptgedanken der Wahrscheinlichkeitsrechnung.[1]) Das Wort Wahrscheinlichkeitsrechnung enthält scheinbar einen Widerspruch in sich selbst; wie will man das Wahrscheinliche, das man gar nicht kennt, berechnen? Dennoch haben sich seit dem 17ten Jahrhundert die bedeutendsten Mathematiker damit beschäftigt; Napoleon I. hat sie in den Hochschulunterricht eingeführt und in neuerer Zeit hat namentlich die Physik mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung ungeahnte Erfolge erzielt. Ich erwähne nur die kinetische Gastheorie, die Theorie der Beobachtungsfehler von Gauss, Maxwell und Boltzmann, die Theorie der elektrischen und der Wärmestrahlung von Planck u. a.

Der gegenwärtige Zustand irgend einer Erscheinung hängt von zweierlei ab: von dem Anfangszustand und von dem Gesetz, nach welchem dieser Zustand variiert; sind beide zugleich bekannt, so hat man ein bestimmtes mathematisches Problem vor sich. Häufig kennt man aber nur das Gesetz, während der Anfangszustand unbekannt ist; die Wahrscheinlichkeitsrechnung erlaubt dann, die durchschnittlichen Erscheinungen vorauszusagen. Dieser Fall findet sich z. B. bei vielen astrono-

[1]) Vergl. Poincaré: Wissenschaft und Hypothese, Seite 183 ff.

mischen Problemen und in der kinetischen Gastheorie. In anderen Fällen jedoch kennt man die Ereignisse und sucht das Gesetz zu erraten und das sind gerade die interessantesten Probleme. Aus einer grossen Zahl von Ereignissen, die man miteinander vergleicht, erkennt man schliesslich gewisse Richtungslinien; je grösser die Zahl der Ereignisse ist, je mehr die Menge des statistischen Materials anwächst, desto deutlicher heben sich diese Linien ab, und desto mehr können diese Richtungslinien Wegweiser für künftig eintretende Ereignisse werden. Das Gesetz, auf dem diese Überlegungen beruhen, heisst das Gesetz der grossen Zahlen.

Auf dieses zweite Problem nun führen fast alle oben erwähnten Wissenschaften und auch im gewöhnlichen Leben bedienen wir uns ähnlicher Überlegungen viel häufiger als man denken sollte. So schliesst z. B. der Statistiker, der einen seltsam erscheinenden Einzelfall in eine ständige Rubrik ähnlicher Ereignisse einreiht; so überlegt der Finanzmann, der an der Börse spekuliert und seine Spekulationen nach der wahrscheinlichen Zahlungsfähigkeit seiner Geschäftsfreunde einrichtet; ferner der Versicherungsbeamte, der Sterblichkeitstafeln aufstellt und die Häufigkeit der Feuersbrünste und Hagelschläge nach dem Gesetz der grossen Zahlen beurteilt. Auch die Nationalökonomie hat sich in neuerer Zeit mit Vorteil jener Überlegungen bedient, um ein Prinzip aufzustellen, das durch Deduktion mit Hilfe der mathematischen Analyse die Gesetze der wirtschaftlichen Phänomene liefert.[1]) Man darf jedoch dabei nicht an einzelne und spezielle Probleme denken; die mathematische Wirtschaftslehre handelt von abstrakten Erscheinungen wie die rationelle Mechanik und beschäftigt sich mit ganz allgemeinen und qualitativen Problemen, z. B. mit der Theorie der Preisbestimmung, der Produktion, der Rente u. s. w. und sie hat ein System von Gleichungen aufgestellt, die den wirtschaftlichen Cyklus (Konsumtion, Tausch, Produktion, Kapitalisation) vollständig bestimmen. Und sind es nicht im Grunde dieselben Überlegungen, von denen sich der Kulturhistoriker leiten lässt, wenn er die Richtungslinien, in denen unsere moderne Kultur vorwärts schreitet, aus den bekannten Erscheinungen früherer Perioden zu erkennen sucht? In einem neueren Werk

[1]) Vergl. z. B. Pareto: Cours d'économie politique. Lausanne 1896 u. 1897.

über Kulturgeschichte[1]) spricht der Verfasser von den „Linien des geringsten Widerstands", in denen sich die Kultur bewege. Das ist ein durchaus mathematischer Gedanke, bei dem man sich nur vor metaphysischen Spekulationen hüten muss; denn in der Tat handelt es sich bei den Anwendungen der Mathematik häufig um gewisse Maximum- und Minimumprobleme, worauf schon Gauss und später H. Hertz hingewiesen haben.

Wie sehr das mathematische Denken für viele Kreise zur Notwendigkeit geworden ist, dafür bietet sich ein glänzendes Beispiel in dem Alters- und Invaliditätsgesetz vom Jahr 1888, dem eine umfangreiche mathematische Anlage beigegeben ist, worin die zum Verständnis notwendigen Formeln abgeleitet werden; in derselben Weise wurde auch das Unfallversicherungsgesetz von der Regierung begründet, die damit von dem gesetzgebenden Körper tiefere mathematische Kenntnisse forderte.

Ebenso wie die Mathematik ihre Gedanken und Resultate den anderen Wissenschaften leiht, so empfängt auch sie von ihnen befruchtende Ideen. Sie stellen ihre Probleme; die Mathematik löst sie, verfolgt sie über das gesteckte Ziel hinaus, und findet dadurch neue Beziehungen auf. Es würde viel zu weit führen, wenn ich von den unendlich mannigfaltigen Wechselbeziehungen zwischen Mathematik und den anderen Wissenschaften auch nur die wichtigsten anführen wollte; ich begnüge mich mit ein paar knappen Hinweisen. Die Theorie der sogenannten partiellen Differentialgleichungen hat sich hauptsächlich durch und für die Physik entwickelt; die tiefen Gedanken Riemanns über Funktionen einer komplexen Variabeln haben ihren Ursprung in physikalischen Anschauungen, und die Mathematik hat ihrerseits dadurch ihren Dank abgestattet, dass sie die verschiedensten Gebiete der Physik und Naturwissenschaft unter einheitliche Gesichtspunkte gebracht und so eines durch das andere gefördert hat (vergl. Potentialtheorie, Laplace'sche Gleichung, Randwertaufgaben u. s. w.). „Das gründliche Studium der Natur . . . . dient so direkt auch der Ausgestaltung der Analysis selbst und der Klarlegung ihrer bleibenden Grundlagen. Diese aber gerade sind es, die sich in allen Naturvorgängen vorfinden."[2])

[1]) Müller-Lyer: Phasen der Kultur. München 1908.

[2]) Fourier: Théorie analytique de la chaleur.

Man kann häufig die Frage hören: Warum beschäftigt sich der Mathematiker mit den abstraktesten Dingen, mit Zahlentheorie, Funktionentheorie u. s. w., die doch gar keine Anwendung finden? Darauf würde ich antworten: Wer kann die Entwicklung voraussehen? Ein griechischer Mathematiker, Apollonius von Perga, hat ums Jahr 250 vor Chr. ein Buch über Kegelschnitte geschrieben, ohne im mindesten an eine Anwendung zu denken; Joh. Kepler hatte den alten Apollonius studiert und daraus erwuchs ihm der Gedanke, sein Zahlenmaterial daraufhin zu prüfen, ob es nicht diesen merkwürdigen Kurven sich anpasse; und siehe da, es ging; das Gesetz der elliptischen Planetenbewegung war entdeckt; die abstrakten Untersuchungen des alten Griechen hatten eine eminent praktische Bedeutung gewonnen. Die Erfinder der imaginären Zahlen konnten nicht ahnen, welche Wichtigkeit ihre Erfindung einst für das Studium der Elektrizitäts- und Wärmeströmung, für die Kartographie und andere Gebiete erlangen würde: das Adjektiv imaginär beweist dies zur Genüge. Der Mathematiker beschäftigt sich sogar mit Räumen von mehr als drei Dimensionen, die nur in seiner Phantasie existieren. Wie man aber ein räumliches Gebilde in der Malerei auf eine Fläche abbildet, so kann man auch den vierdimensionalen Raum auf unsern bekannten dreidimensionalen abbilden und eine dieser Abbildungen hat, wie Kummer fand, ein physikalisches Interesse, indem sie auf dieselbe Differentialgleichung führt wie die Untersuchung der Gestalt eines durch die Atmosphäre unter bestimmten Annahmen gebrochenen Lichtstrahls.

Dem oben angeführten Einwand kann man überhaupt durch folgende Überlegung begegnen: Wenn bei gewissen Problemen unsere Formeln auf imaginäre oder unvorstellbare Grössen führen, so ist dies doch nur ein Zeichen dafür, dass sie umfassender sind, als die Bedeutung, die ihnen unterlegt wurde; und dass es einen umfassenderen Ausdruck für die Probleme gibt, der auch solche Fälle mit einschliesst, die einer beschränkten Auffassung unzugänglich sind. Denn die Formel ist noch mächtiger als die Phantasie: sie umfasst alle Fälle, die je ausgedacht wurden und in Zukunft ausgedacht werden können.

Diese zweite Antwort auf den erwähnten Einwand führt mich nun zum zweiten Teil meiner Ausführungen, nämlich auf die

grosse Bedeutung der reinen Mathematik für die Erziehung und Ausbildung des menschlichen Geistes.[1])

Wenn man vom Wert der Mathematik für die Geistesbildung spricht, so pflegt man in erster Linie ihre Bedeutung für die Ausbildung des streng gesetzmässigen Denkens und Schliessens, d. h. also für die Logik, hervorzuheben. Diese Seite des Mathematikstudiums wurde von jeher, namentlich auch von Melanchthon, betont und gerühmt. Für Melanchthon ist dies auch das wichtigste, was der mathematische Unterricht bei der Bildung der Jugend erreichen soll. Der Sinn für Wahrheit ist durch die strenge Form des Beweises zu wecken und heranzubilden und eben die alte Geometrie ist nach seiner Meinung die unerlässliche geistige Gymnastik geworden, in der jeder Gebildete seine Denkkraft üben muss. Er sagt einmal in einem Schreiben an den Senat zu Nürnberg: „Vor allem gewöhnt sie (die Mathematik) den Geist an eine klare und sichere Beweisführung und damit überhaupt an die Liebe zur Wahrheit, welche eines gebildeten Mannes höchste Zierde ist, insofern er sich mit den Wissenschaften und der Beurteilung der höchsten Fragen beschäftigt.“ [2])

Obwohl der Wert der Mathematik für die Fähigkeit, aus gegebenen Voraussetzungen richtige Schlüsse zu ziehen, ganz unbestreitbar ist, hat es doch Männer gegeben, die diesen Wert leugneten, vor allen Schopenhauer an verschiedenen Stellen seiner Schriften. Er meint, die Kunst richtig zu schliessen, könne man nicht durch ein Verfahren lernen, bei dem es kein unrichtiges Schliessen gebe. Dieser Einwand beweist nur, dass ihm jedes Verständnis für mathematische Gedanken fehlt. Denn erstens weiss jeder Lehrer, dass schon bei den einfachsten mathematischen Problemen, wie Konstruktionsaufgaben, Gleichungen u.s.w. logische Irrtümer durchaus nicht ausgeschlossen sind (wir wären froh darüber!), und zweitens weiss Schopenhauer nicht, dass die Mathematik nicht bloss lehrt, aus gegebenen Prämissen richtige Schlüsse zu ziehen, sondern auch neue Prämissen zu finden, auf denen man weiter bauen kann. Sie führt deshalb zu selbständigem logischem Denken, gewöhnt an Klarheit im sprachlichen

[1]) Vergl. für das folgende auch: E. Geck: Über die Bedeutung der Mathematik für die Bildung des Geistes. Lit. Beilage des Staatsanzeigers für Württemberg 1907. S. 170 ff.

[2]) Vergl. Bernhardt: Philipp Melanchthon als Mathematiker. 1897.

Ausdruck und bildet gleichzeitig das innere Anschauungsvermögen aus. Was Schopenhauer meint, ist vielleicht der Umstand, dass in der Mathematik, wo nur wenige Voraussetzungen gemacht, diese aber klar ausgesprochen werden, logische Fehler viel leichter entdeckt werden als anderswo; das beweist aber gerade, dass sie sich besonders gut dazu eignet, logisches Denken zu lehren. Viele Philosophen, von Plato über Cartesius und Leibniz bis zu Sigwart und Cohen entnehmen in ihren Werken über Logik die erläuternden Beispiele häufig der Mathematik.

Es wird natürlich kein vernünftiger Mensch leugnen, dass man auch durch das Studium der Sprachen logisches Denken lernen kann, aber da erhebt sich doch ein Bedenken wegen der zahlreichen Ausnahmen. Wenn junge Leute, die nur oder überwiegend Sprachunterricht genossen haben, ein Naturgesetz anwenden sollen, so können sie sich oft gar nicht entschliessen, dasselbe ernst zu nehmen und alle Konsequenzen daraus hervor zu holen; sie verwechseln es mit einer grammatikalischen Regel, auf die man nicht mit absoluter Sicherheit bauen darf. Darin liegt wohl auch der Grund, dass es oft so schwer ist, gescheiten, aber mathematisch nicht genügend gebildeten Leuten ein mathematisches oder ein Naturgesetz klar zu machen. Sie verstehen es nicht, weil sie nicht gelernt haben, mit exakten Tatsachen zu rechnen, weil ihnen der Funktionsbegriff des mathematisch Denkenden fehlt.

Aus diesen Ausführungen folgt schon, dass die Mathematik, was Ausbildung des Sprachgefühls anbetrifft, hinter keinem andern Fach zurücksteht. Es genügt ja nicht, die mathematischen Tatsachen zu kennen; man muss auch imstande sein, das Erkannte in klarer Form sprachlich und logisch richtig auszudrücken und eine mathematische Formel in die Muttersprache zu übersetzen; deshalb ist z. B. in der Schule jede Mathematikstunde von höchstem Wert für den Unterricht in der Muttersprache. Im mathematischen Unterricht lässt sich in Bezug auf Korrektheit und Folgerichtigkeit eine Vollkommenheit der Sprache erreichen, die vom heilsamsten Einfluss auf Sprache und Denken überhaupt ist. Man sage nicht, dass durch die Mathematik Trockenheit und Nüchternheit anerzogen werde, dass man verlerne in Bildern zu reden. Man darf ja nur unsere grossen Mathematiker lesen, einen Euler, einen Gauss, einen Jacobi, einen Kronecker; wenn der innere Drang es verlangt, dann reden auch

sie in gehobenen Worten. Wo aber sachliche mathematische Fragen behandelt werden, liegt kein Anlass zu hohlem Pathos vor; die Mathematik bekämpft deshalb die Unsitte der Phrasenmacherei. Der mathematisch Gebildete wird an leeren schönrednerischen Worten niemals eine Freude haben; aber ist das ein Fehler? Im Gegenteil; es ist von hoher sittlicher Bedeutung, dass die Mathematik hohle Phrasen verachten lehrt, und dieser Gedanke führt uns auf den Wert der Mathematik für die ethische und religiöse Bildung.

In keinem Gebiet lässt sich mit blossen Worten weniger erreichen als in der Mathematik. Deshalb erzieht sie vor allen Dingen zur Wahrhaftigkeit, Ehrlichkeit und Aufrichtigkeit gegen sich selbst und andere. Langsam wird der Schüler zum Bedürfnis nach dem Beweis der Behauptungen, zur Kritik gegen sich selbst und andere, selbst gegen den Lehrer, erzogen. Die Stählung des Willens, die Gewöhnung, auf geistigem Gebiet sich selbst zu vertrauen, die unerbittliche Strenge gegen eigene und fremde Behauptungen, sind wesentliche Früchte der mathematischen Erziehung, die sich dadurch als eine Schule strengster Selbstzucht erweist. Nirgends wird auch ein Mangel an Begabung leichter festgestellt als in der Mathematik. In den Sprachen ist es möglich, gedächtnismässig Kenntnisse zu sammeln; in der Mathematik nützen bei richtigem Betrieb die Kenntnisse nichts ohne die Erkenntnis, welche in angestrengter psychischer Arbeit errungen werden muss. Denn die Mathematik ist eine autoritätslose Wissenschaft: die mathematische Erkenntnis tritt nicht von aussen an den Schüler heran, sondern sie wird vom Lehrer in der Tiefe seines Bewusstseins erst geweckt. In diesem Sinne betrachtet, erscheint die Mathematik als ein hervorragendes Mittel zur Erziehung von ethisch wertvollen Persönlichkeiten. Sie packt, regelt, befruchtet und schärft den Verstand; macht aufmerksam, bedächtig, findig, ehrlich; flösst Mut und Selbstvertrauen ein, sowie Bescheidenheit und Unterordnung des eigenen Sinns unter die Wahrheit und Strenge gegen sich selbst. Sie führt ins Wesen, in den Kern der Dinge; ist knapp in der Form, übersprudelnd im Inhalt. Sie reisst von einem Punkt zum andern fort, wirkt auf das künstlerische Verständnis, auf den Geschmack, das Urteil und die wissenschaftliche Auffassung der Dinge befruchtend ein. Sie macht begierig, ins Wesen der Dinge einzudringen, sammelt den Geist, lenkt ihn auf einen

Punkt, weckt eigenes Forschen und Lust an der Arbeit, reizt durch die Ausblicke, die sie eröffnet, zu immer neuem Streben an und gewährt durch ihre Allgemeinheit Sicherheit und Zuversicht. Sie ist endlich, wie wir noch sehen werden, die beste Führerin zur Philosophie und zur philosophischen Weltbetrachtung.

Ich sagte eben, die Mathematik wirke befruchtend auf das künstlerische Verständnis, und damit komme ich auf einen dritten Punkt. Das Studium der reinen Mathematik ist nicht bloss von Wert für die logische und ethische, sondern auch für die ästhetische und künstlerische Erziehung des Menschen. Diese setzt aber eine besondere menschliche Geisteskraft voraus, die Phantasie. Mancher wird zweifelnd den Kopf schütteln: was soll die Mathematik, der reine kalte, berechnende Verstand mit der Phantasie zu tun haben? Und doch ist es so, meine Herrn! Mathematik ohne Phantasie ist unmöglich. Wie der Künstler in seiner Phantasie seine Gestalten instinktiv erschaut, so findet der grosse Mathematiker durch die Kombinationsgabe einer poetischen Phantasie seine Sätze; die technische Ausführung, der Beweis, folgt erst in zweiter Linie. „Wie weit auch der rechnende Verstand des Mathematikers vom kühnen Flug der Phantasie des Künstlers entfernt zu sein scheint, so bezeichnen diese Ausdrücke doch nur Augenblicksbilder, die willkürlich aus der Tätigkeit beider herausgerissen sind. Gemeinsam ist beiden die Hervorbringung der Gebilde aus dem Geist.“ [1])

Um Ihnen eine Vorstellung davon zu geben, wie ein feinsinniger Mathematiker seine Wissenschaft ansieht, kann ich nichts besseres tun als mich an die schönen Worte anschliessen, die G. Hauck in seinem Vortrag „über die Stellung der Mathematik zur Kunst und Kunstwissenschaft“ [2]) ausgesprochen hat. „Mit der grossartigen poetisch-mathematischen pythagoreischen Weltanschauung verknüpfte Plato die sittlich ernsten Grundsätze der sokratischen Philosophie, und solange diese platonische Philosophie die Geister beherrschte, gingen Mathematik und Kunst in schwesterlichem Vereine Hand in Hand, und mächtig ist der Einfluss, den die aus hellenischem Geist herausgewachsene ästhetische Weltbetrachtung auf die Entwicklung der Mathematik

[1]) Vergl. E. Lampe: Entwicklung der Mathematik im Zusammenhang mit der Ausbreitung der Kultur. Festrede. Berlin 1893.

[2]) Preussische Jahrbücher. Bd. 46. 1880.

und der Kunst ausgeübt hat. Sollte es ein Zufall sein, dass das Heimatland eines Pythagoras und eines Euklid auch dasjenige eines Phidias und eines Praxiteles war?" Und in späteren Zeiten: Leonardo da Vinci, Michel Angelo und Albrecht Dürer, was sind sie anders als mathematisch denkende Künstler? und wenn Sie die Werke von Johann Kepler lesen, so werden Sie erkennen, dass er ein künstlerisch fühlender Mathematiker war. Jeder grosse Mathematiker hat etwas vom Künstler; denn von der Mathematik gilt vor allem das Wort, dass sie nicht ein Kennen, sondern ein Können ist.

Aber noch ein weiteres künstlerisches Element in der Mathematik darf nicht vergessen werden: die Symmetrie und die Schönheit der Formelsymbolik. Der Laie sieht in den mathematischen Formeln nur unverständliche tote Zeichen; dem Mathematiker aber ist jeder Buchstabe ein Symbol, jede Formel der Ausdruck einer Idee. „Seiner Formeln künstliche Gefüge zeigen ihm, wie in melodisch reichem Fluss des Reizes Linien sich winden, wie der Kurven Netze sich verschlingen, wie der Flächen Wölbungen sich dehnen und der leere Raum belebt sich ihm zu einer Welt voll Schönheit und Entzücken." [1]) So schwelgt der Mathematiker beständig im reichsten Genuss reinster ästhetischer Freuden. In der Formelsymbolik der Mathematik kommt das Prinzip der Belebung der Form durch den Inhalt der Vorstellungen am reinsten und geistigsten zum Ausdruck. Nach Kant rührt die Mathematik das Gefühl auf eine noch erhabenere Art als die zufälligen Schönheiten der Natur[2]) und der schon einmal erwähnte Novalis bricht in die Worte aus: „Jeder Mathematiker ist Enthusiast per se; ohne Enthusiasmus keine Mathematik!"

Was aber beim Denker und Forscher im grossen stattfindet, das zeigt sich im kleinen schon bei der Arbeit des Schülers. Ich erinnere nur an die geometrischen Konstruktionsaufgaben. Logik allein tuts hier nicht. Vor dem geistigen Auge des Schülers muss die Lösung stehen; durch leise Assoziationen muss seine Phantasie die Verbindung der gegebenen Sachlage mit schon bekannten Sätzen und Figuren herstellen.

Aber ebenso wie die mathematische Erziehung künstlerisch sein soll, so soll nach Albrecht Dürer und Hans Thoma die

[1]) Vergl. Hauck a. a. O.

[2]) In: „Der einzig mögliche Beweisgang zu einer Demonstration des Daseins Gottes."

künstlerische Erziehung auf die Lehre von der Raumkonstruktion gegründet werden; dass durch die Mathematik die Phantasie in der richtigen Erfassung der Gestalten und Bewegungen geübt, dass durch sie also vorwiegend auch das räumliche Anschauungsvermögen ausgebildet werde, ist eine unbestrittene Tatsache, die schon von Descartes in ihrem ganzen Umfang hervorgehoben wurde.

Wir kommen nun zum letzten und wichtigsten Punkt, nämlich zu der Bedeutung der reinen Mathematik für die philosophische Erziehung. „Über allen Anwendungen bleibt doch der Wert der reinen Mathematik als des gemeinsamen Bandes aller Erkenntnis", sagt Max Simon in seiner Didaktik und Methodik des Mathematikunterrichts. Zu allen Zeiten sind hervorragende Mathematiker und Physiker auch bedeutende Philosophen gewesen und umgekehrt; ich darf ja nur auf die Namen Pythagoras, Plato, Cartesius (den Erfinder der analytischen Geometrie), Leibniz (den Erfinder der Monadenlehre und der Differentialrechnung), Gauss, Kant, Riemann, Helmholtz, hinweisen. Ganz besonders eng ist aber in neuerer Zeit die Verbindung zwischen Mathematik und Philosophie geworden, und um einige Namen vorweg zu nehmen, nenne ich unter den Lebenden R. Dedekind, E. Mach, G. Cantor, D. Hilbert, H. Poincaré. Es wäre ein Vortrag für sich, und es hätte einen eigentümlichen Reiz, die Einwirkung mathematischer Gedanken und Probleme auf philosophische und metaphysische Spekulationen, und die Beeinflussung der Mathematik durch philosophische Systeme zu schildern. Hier kann ich nur auf einzelne Punkte hinweisen, die mir persönlich am wichtigsten erscheinen. Ich wähle zwei Hauptgebiete heraus, die Analysis und die Geometrie.

In der Analysis war es hauptsächlich der Differentialbegriff und die Infinitesimalrechnung, die zu philosophischen Spekulationen Anlass gaben. Es ist gewiss kein Zufall, dass der Begründer der Monadenlehre zugleich auch der Erfinder der Differentialrechnung war, denn die Lehre vom Differential ist wohl nichts anderes als der analytische Ausdruck der Monadenlehre. Wie schwierig die philosophische Grundlegung der Infinitesimalrechnung ist, ermessen Sie am besten aus dem Umstand, dass gleich nach ihrer Erfindung zahlreiche Gegner aus dem philosophischen Lager auftraten, unter denen ich nur den englischen Philosophen George Berkeley nenne, der zwei scharfe

Streitschriften veröffentlichte.[1]) Seine Einwürfe wurden jedoch aufs glänzendste widerlegt durch Lazare Carnot (1797), dessen „Réflexions sur la métaphysique du Calcul infinitésimal" zu den interessantesten Abhandlungen auf diesem Gebiet gehören. Wenn heutzutage der Streit um den Differentialbegriff im wesentlichen beigelegt ist, so ist dies in erster Linie das Verdienst der Mathematiker Cauchy und Weierstrass.

Von ganz besonderer Bedeutung sind in neuerer Zeit die philosophischen Untersuchungen über den Zahlbegriff geworden. Bei der einfachsten Definition der Zahl, die mit Hilfe der sogenannten Mengenlehre geschieht, auf die ich jedoch hier nicht näher eingehen kann, ergibt sich die Richtigkeit der einfachen Rechnungsregeln ganz von selbst. Daraus folgt dann, dass der Satz 5+7=12 nicht, wie Kant meinte, ein synthetisches, sondern ein analytisches Urteil, d. h. dass er eine Konsequenz aus den Begriffen 5, 7 und 12 ist. Dagegen sind die arithmetischen Wahrheiten, die sich nicht auf andere zurückführen lassen, d. h. die arithmetischen Axiome synthetische Urteile a priori im Sinne Kants: sie sind ein ursprünglicher Besitz unseres Geistes. Das wichtigste dieser Axiome ist dasjenige, dass der menschliche Geist überzeugt ist, sich die unendliche Wiederholung eines Schrittes vorstellen zu können. Man nennt dieses Axiom den Satz von der vollständigen Induktion; auf eine Formel gebracht, lautet er so: Man beweist einen Lehrsatz zuerst für die Zahl $n = 1$; hierauf zeigt man, dass er für ein beliebiges n richtig ist unter der Annahme, dass er für die vorhergehende ganze Zahl $n - 1$ stimmt, und man folgert daraus, dass er für alle ganze Zahlen gilt.

Durch eine endliche Anzahl fortgesetzter Syllogismen könnten wir nie etwas neues entdecken; dass die Mathematik nicht eine ungeheure Tautologie ist, verdanken wir eben diesem Verfahren der vollständigen Induktion.[2]) Auf die ausserordentlich interessanten philosophischen Untersuchungen über die Mengenlehre, die irrationalen Zahlen u. s. w. näher einzugehen, verbieten mir Raum und Zeit; ich begnüge mich mit einem Hinweis auf einige wichtige Abhandlungen.[3])

[1]) „The Analyst" und „A defence of freethinking in mathematics."

[2]) Vergl. Poincaré: Wissenschaft und Hypothese.

[3]) Dedekind: Stetigkeit und irrationale Zahlen. — Derselbe: Was sind und was sollen uns die Zahlen? — Russel: The principles of mathematics. Cambridge 1903. — Über die Mengenlehre: Schönflies: Jahresbericht d. Deutsch. Math. Vereinigung. VIII. 2.

Noch enger ist die gegenseitige Befruchtung der Ideen zwischen der Geometrie und der Philosophie, wobei namentlich das Raumproblem eine Rolle spielt. Die Geometrie war seit Euklid im Besitz eines festen, auf Axiome gegründeten Systems; diese Axiome hielt Kant noch für synthetische Urteile a priori. Die neuere Mathematik hat überzeugend nachgewiesen, dass sie einfach verkleidete Definitionen, d. h. auf Übereinkommen beruhende Festsetzungen sind. Namentlich gilt dies von dem vielumstrittenen Parallelenaxiom, das aussagt, dass man durch einen Punkt nur eine Parallele zu einer Geraden ziehen könne. Gauss hat zuerst gezeigt, dass dieses Axiom nicht von den andern abgeleitet werden kann und nach ihm wiesen Bolyai und Lobatschewsky nach, dass auch eine widerspruchslose Geometrie entsteht, wenn man dieses Parallelenaxiom als ungültig ansieht. Für Kant war die euklidische Geometrie von absoluter Gewissheit. Da man aber durch fortgesetztes Arbeiten mit Syllogismen nie mehr herausziehen kann als man hineingelegt hat, so legte Kant der Raumanschauung eine vor aller Erfahrung beigegebene Fähigkeit bei, die Transzendentalität; ausserdem erklärt er, dass alle Axiome Euklids aus der reinen Anschauung stammen, weil eben alle Folgerungen stets zu richtigen Resultaten führen. Jetzt wissen wir, dass auch andere Axiome zu widerspruchslosen Systemen führen. Durch die Arbeiten von Gauss, Bolyai, Lobatschewsky, Beltrami, Riemann, Helmholtz, Klein, Lie und Hilbert sind wir dahin gelangt, dass wir ein System von Grundtatsachen angeben können, aus dem ohne Benutzung weiterer Anschauungselemente die euklidische Geometrie durch rein logische Schlüsse hergeleitet werden kann. Von diesem System kann man zeigen: 1) dass die Axiome von einander unabhängig sind und 2) dass das System in sich selbst widerspruchslos ist. Man hat ferner den Einfluss der einzelnen Axiome auf die Geometrie untersucht und durch Weglassung dieser oder jener Gruppe ebenfalls logische, aber von unserer gewöhnlichen weit abweichende Geometrien konstruiert, was für die Lehre von der Raumanschauung von weittragender Bedeutung gewesen ist.[1]) Die Diskussion über diese Fragen ist aber heute noch nicht abgeschlossen. Die Wiederbelebung des philosophischen Interesses und besonders die an Kant anschliessende Richtung haben bewirkt, dass

[1]) Vergl. Rosanes: Charakteristische Züge in der Entwicklung der Mathematik des 19. Jahrhunderts. Jahresber. d. deutsch. Math. Vereinigung Bd. 13.

ihre Erörterung lebhafter ist als je. Es handelt sich ja dabei um allertiefste Fragen, um das Verhältnis unseres Geistes zur Aussenwelt. Wer also diesen Fragen mit tieferem Verständnis gegenübertreten und sich eine Meinung darüber bilden will, dem bleibt nichts übrig als sich eine tüchtige mathematische Bildung anzueignen.[1])

Meine Herren! Ich komme zum Schluss meiner Ausführungen. Ich habe versucht, Ihnen den Einfluss der Mathematik auf unsere moderne Kultur zu skizzieren, und wenn es auch nur eine flüchtige Skizze sein konnte, so hoffe ich doch, Ihnen einen Begriff von dem reichen Inhalt und der Schönheit unserer Wissenschaft gegeben zu haben. Sie haben gesehen, wie der reine Mathematiker eine reiche ideale innere Welt hat, wie er in sich die Verpflichtung und das rein idealistische Bedürfnis fühlt, die Gesetze der Zahl- und Raumgebilde zu ergründen, und wie er dadurch auch einer Menge von anderen Wissenschaften in selbstloser Weise die Wege geebnet hat.

Sie dürfen aber nicht glauben, dass ich die Mathematik als Alleinherrscherin, als einziges Bildungsmittel proklamieren wolle. Nichts liegt mir ferner. Zwar kann, wie Sie selbst aus dem Vorhergehenden erkennen werden, die mathematische Bildung durch nichts ersetzt werden; aber sie ist andererseits auch nicht genügend; denn sie kann diejenige Erweiterung des geistigen Horizonts nicht geben, welche das Studium der alten und neuen Sprachen, der Litteratur und der Geschichte gewährt. Der schroffe Gegensatz zwischen humanistischer und realistischer Bildung verschwindet zum Glück immer mehr; aber wenn Herr Geck am Schluss des erwähnten Aufsatzes sagt, dass, wer die Mathematik verachtet, sich als schlechter Grieche erweise, so möchte ich hinzufügen: wer die klassischen Bildungsmittel geringschätzt, der hat vom Geist der Mathematik keinen Hauch verspürt. Ein Zusammenarbeiten und ein gegenseitiges Verstehen ist nötig und mir dünkt, es bahnt sich gegenwärtig an.[2]) Dann aber werden Mathematiker und Naturwissenschaftler und Philologen vereint sich als Träger der Kultur in des Wortes wahrster Bedeutung erweisen.

[1]) Vergl. z. B. D. Hilbert: Grundlagen der Geometrie. Zahlreiche Aufsätze in den „Abhandlungen der Fries'schen Schule." Cohen: Logik der reinen Erkenntnis. Poincaré a. a. O. Kap. 4 nebst den ausführlichen Erläuterungen von Lindemann.

[2]) Während ich diese Worte schreibe, erhalte ich einen Vortrag von A. Riehl über „Humanistische Ziele des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts", der einen weiteren Schritt in dieser Richtung bedeutet.

Licht als Heilmittel.

Von Dr. med. **K. Assfalg** in **Ulm.**

Wir Menschen sind Sonnenkinder. Wie alles, was auf unserem Planeten blüht, wie alles, was sich regt, so ist auch unser Geschlecht unter dem Einfluss des Tagesgestirns durch die Jahrtausende herangewachsen. Das ganze organische Leben der Erde ist unter dem Einfluss der Sonne geworden und bedarf dieses Einflusses täglich und stündlich zur Aufrechterhaltung des Lebens. Es ist sicher, dass den Sonnenstrahlen, dem Lichte überhaupt eine grosse Wirksamkeit auf die Bausteinchen unserer Organe, auf die Zellen, zukommt. Wenn wir den Zusammenhang der Naturvorgänge einsehen, wenn wir die Art und Weise der Wirksamkeit der Sonnenstrahlen auf das organische Leben kennen, wenn wir die Einflüsse der einzelnen Strahlengruppen analysieren und sozusagen den Mechanismus dieses Einflusses begreifen, dann können wir das, was die Natur immer tat, regeln und abgleichen, verstärken und vermindern: mit einem Wort, der Arzt kann den erkannten Naturzusammenhang therapeutisch verwerten. Alle Strahlungen der Sonne wirken auf die Zelle: aber sie wirken ungemein verschieden.

Ich muss mir hier erlauben, Ihre Gedanken auf einige physikalische Grundgesetze zu lenken. Sie wissen, dass die Energie, die die Sonne der Erde beständig zusendet, ein Gemenge von Licht- und Wärmestrahlen ist, dass ein Sonnenstrahl durch ein Prisma in das Spektrum mit seinen verschiedenen Farben, rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett, zerlegt werden kann. Am Rot-Ende des Spektrums haben wir die Wärmestrahlen mit relativ langsamer Schwingungszahl und grosser Wellenlänge,

am Violett-Ende die chemisch wirksamen Strahlen mit grosser Schwingungszahl und kleiner Wellenlängen. Neben diesen sichtbaren Strahlen giebt es zu beiden Enden des Spektrums unsichtbare Strahlen: die ultraroten Wärmestrahlen und die ultravioletten kalten Strahlen.

Jeder dieser drei Bestandteile des Sonnenlichts, die Wärme-, die eigentlichen Licht- und die ultravioletten Strahlen kommen in der Medizin zur Anwendung. Die Wirkung der einzelnen Strahlungen ist verschieden und wird reguliert durch zwei Gesetze. Die Strahlen der Sonne kommen nicht ungehindert an uns heran; sie müssen zuerst die Gashülle unseres Erdkörpers durchdringen. Ist nun auch die reine Luft ein geringes Hindernis, so bildet die staubgeschwängerte ein umso grösseres. Dieses Hindernis ist verschieden gross, je nach der verschiedenen Schwingungsgrösse der Wellen. Je kurzwelliger die Strahlung ist, umso mehr wird sie in der Luft absorbiert. Wird die kurzwellige Strahlung nicht bereits von den Staubpartikelchen der Luft absorbiert, so wird sie es sicher von der Oberschicht unserer Haut. Daraus folgt, dass wir tiefliegende Zellen im Körper nicht direkt mit blauen, violetten und ultravioletten Strahlen beeinflussen können, weil diese kurzwellige Strahlung nicht tief genug eindringt. Das zweite Gesetz reguliert die Intensität der Wirkung. Die Wirkung einer Strahlung ist umso intensiver je kurzwelliger sie ist. Die Wirkung ist unter Umständen eine gewaltige: wir können mit violettem und ultraviolettem Licht belebend und anregend, aber auch tötend auf die Zelle wirken.

Die wohltätigen Eigenschaften des Sonnenlichtes, die Förderung des Stoffwechsels, der belebende Einfluss überhaupt, waren schon in den ältesten Zeiten bekannt. Im Altertum und heute noch bei Naturvölkern wird der Sonne als Urquell alles Lebens hohe Verehrung gezollt. Die ersten Nachrichten über eine therapeutische Verwertung des Sonnenlichtes finden wir bei Herodot, er berichtet von den alten Ägyptern, dass sie zur Heilung verschiedener Übel in Sandgruben sich von der Sonne bescheinen liessen, wobei Augen und Kopf vor der Bestrahlung durch Tücher geschützt waren. Die Griechen und Römer errichteten auf den Dächern ihrer Häuser besondere Solarien für Sonnenbäder. Gesunde und Kranke, besonders mit Hautleiden und Rheumatismus Behaftete benutzten bei den Römern diese Sonnenbäder. Die alten Ärzte Hippocrates, Celsus, Galen und

Avicenna betonen den hygienischen und therapeutischen Wert des Sonnenlichtes. Im Mittelalter wenig beachtet, kam die Sonnenbehandlung erst wieder im Anfang des 19. Jahrhunderts zu Ehren durch Löbel in Jena und den Schweizer Arnold Rikli. Letzterer errichtete im Jahr 1855 in Veldes in der Oberkrain eine richtige Anstalt für Sonnenbäder. In nach Süden zu geöffneten Hallen lagen die Patienten unbekleidet auf Decken, wobei der Kopf geschützt und ev. gekühlt wurde. Die günstige Wirkung der allgemeinen Sonnenbäder beruht im wesentlichen auf strahlender Wärme. Durch den Schweiss werden hierbei Bakterien und Giftstoffe ausgeschieden, es entsteht vermehrter Blutzufluss zu der Haut und damit eine Ableitung der Blutmasse von den inneren Organen zu der Körperoberfläche, der Stoffwechsel und die Blutzirkulation wird angeregt. Auch eine bakterizide Wirkung des Sonnenlichts kann in engeren Grenzen stattfinden. Im Grossen und Ganzen sind demnach Sonnenbäder angezeigt bei Stoffwechselerkrankungen (Fettsucht, Zuckerkrankheit, Gicht), bei Stauungen in inneren Organen, bei Blutarmut und Bleichsucht, allgemeiner Schwäche, Nerven- und Hautleiden, Scrophulose und Rachitis.

Neben dieser allgemeinen Heliotherapie giebt es noch eine örtliche Behandlung mit Sonnenlicht. Eine lokale thermische Behandlung durch Sammlung des Sonnenlichts mit Brenngläsern kennt schon Plinius der Ältere; man brannte auf diese Weise kleine Geschwülste, Warzen, einzelne Lupusknötchen fort. Diese schmerzhafte Behandlung, die dazu noch hässliche Narben giebt, hat nie viele Anhänger gehabt.

Auf andere Weise als mit Lupen suchte Tappeiner-München die Wirkung des Sonnenlichtes zu verstärken. Er machte im Jahre 1900 die Entdeckung, dass gewisse Protozoen, die in sehr dünnen Lösungen fluoreszierender Stoffe (Chinin, Eosin u. ä.) ohne Schädigung leben können, sehr rasch abstarben, wenn sie in dieser Lösung dem Sonnenlicht ausgesetzt wurden. Unter dem Einfluss des Sonnenlichts bekamen also diese Substanzen stark giftige Eigenschaften gegenüber diesen kleinen einzelligen Lebewesen, von denen einige als Krankheitserreger bekannt sind. Tappeiner nahm nun an, dass dieser schädigende Einfluss der belichteten, fluoreszierenden Stoffe auch an den dem Lichte zugänglichen Zellen der Oberhaut, namentlich an den krankhaft neugebildeten, zur Geltung kommen würde. Ihm und andern

gelang es tatsächlich, krebsartige Wucherungen der Haut, die nur aus solchen Oberhautzellen bestehen, dadurch zu zerstören, dass er sie mit solchen Lösungen bepinselt, dem Sonnenlicht aussetzte.

Eine örtliche Sonnenbehandlung ohne Konzentration der Strahlen hat im Jahre 1902 Dr. Bernhard in Samaden, und ihm folgend Dr. Rollier in Leysin und Professor Bobroff in seinem Küstensanatorium bei Alupka am Südgestade der Kriem für chirurgische, speziell tuberculöse Erkrankungen eingeführt. Im Hochgebirge, namentlich den südlichen Abhängen, lässt sich die Besonnung zu allen Jahreszeiten und Tagesstunden durchführen. Hier, wo besonders im Winter weite Schneeflächen das Licht widerstrahlen, ist natürlich die Sonnenbehandlung von besonders gutem Erfolge begleitet, zumal hier, wie bereits erwähnt, das Sonnenlicht reicher an ultravioletten Strahlen ist als in der Ebene (Gletscherbrand!) Diese Behandlung zeitigte gute Erfolge bei Haut- und Knochentuberculose, bei sog. kalten Abscessen, bei Brandwunden, bei eiternden Wunden verschiedenster Art, Fussgeschwüren, Frostbeulen, Hautkrebs, Hautausschlägen, weichem Schanker u. a.

Die entscheidendste Förderung erfuhr die örtliche Lichtbehandlung seit dem Jahr 1893 durch den allzufrüh verstorbenen dänischen Arzt Finsen; er formulierte und begründete als erster die drei Grundprinzipien der Lichttherapie: die bakterientötende Kraft, die entzündungserregende Eigenschaft und die bis zu einem gewissen Grad das menschliche Gewebe durchdringende Wirkung der blauen, violetten und ultravioletten Strahlen. Davon ausgehend, dass die oft recht lästig werdenden Wärmestrahlen bezüglich der direkten bakteriziden Wirkung des Lichtes indifferent seien, suchte Finsen die Wärmestrahlen auszuschalten und die wirksamen Strahlen zu konzentrieren. In grossen planconvexen Hohllinsen von 30 cm Durchmesser, die mit einer schwachen Kupfersulfatlösung, welche einen Teil der Wärmestrahlen zurückhält, gefüllt waren, sammelte er das Sonnenlicht. Um das für die Tiefenwirkung hinderliche Blut wegzudrücken und die Dicke der zu durchdringenden Gewebschicht zu verringern, benützte Finsen Kompressorien und zwar planconvexe Linsen aus Bergkrystall, welcher im Gegensatz zum Glas die ultravioletten Strahlen gut durchlässt. Da Finsen die Sonne in Kopenhagen weder zeitlich noch intensiv genügend zu Gebote

stand und wegen der nötigen Kühlapparate eine Vorrichtung zur Stellungsänderung mit der Bewegung der Sonne erforderlich war, ging Finsen zum elektrischen Bogenlicht über, weil mit demselben sich eine sehr grosse Lichtstärke erzielen lässt und weil es eine verhältnismässig grosse Menge blaue und violette Strahlen enthält und somit eine ausserordentlich starke chemische Wirkung ausübt.

War der Sonnenlichtapparat Finsens einfach und zwar deshalb, weil bei dem ungeheuren Abstand der Sonne von der Erde deren Licht als ausschliesslich aus parallelen Strahlen bestehend betrachtet werden kann, so war die Konstruktion des Sammelapparates für elektrisches Licht komplizierter, weil die von einer elektrischen Bogenlampe ausgehenden Strahlen divergieren und daher einer stärkeren Konzentration bedürfen.

In einem fernrohrartigen Apparat befinden sich an dem der Lichtquelle zunächst liegenden Ende drei convexe Quarzlinsen. Der Abstand zwischen den Kohlenspitzen der Bogenlampe mit 8000 Nk Leuchtkraft und der nächsten Linse ist mit der gesammelten Brennweite der 3 Linsen gleich. Die von dem Brennpunkt der Linsen divergierend ausgehenden Strahlen werden durch ein zweites Linsensystem am andern Ende des Apparates konvergierend gemacht. Mit den chemisch wirksamen Strahlen wurden so auch die Wärmestrahlen konzentriert und die Hitzewirkung auf der Haut unerträglich. Deshalb zirkuliert zwischen dem zweiten Linsenpaar kaltes, fliessendes Wasser behufs Ausschaltung der Wärmestrahlen. Da nun das Blut ein fast vollständiges Hindernis für das Eindringen der chemischen Strahlen in die Gewebe bildet, so war die Blutleermachung der bestrahlten Partien nötig, damit die chemischen Strahlen Bakterien töten und Entzündung in den tieferen Schichten der Haut hervorrufen können. Durch Aufdrücken einer Quarzlinse auf die behandelte Stelle wird dieser Forderung Genüge geleistet.

Die von Finsen bei Lupus erzielten Erfolge sind bewunderungswert. Die Methode ist zuverlässig, schonend, schmerzlos, giebt schöne kosmetische Resultate, eine kaum sichtbare Narbe und ist frei von unangenehmen Nebenwirkungen. Aber die Methode hat auch ihre Schattenseiten: der grosse Apparat mit 4 Konzentratoren ist sehr teuer, der Stromverbrauch sehr hoch. Deshalb konstruierte Finsen mit seinem Assistenten Reyn einen kleineren, billigeren, auf ähnlichen Prinzipien aufgebauten hand-

licheren Apparat: die sogen. Finsen-Reynlampe. Sie brennt schon bei 20 Ampère und besitzt nur einen Konzentrator.

Bei beiden Lampen dauert eine Sitzung ca. 1 Stunde, während deren ein Bezirk von 1 Pfennig-Stück-Grösse behandelt wird.

Bei anderen Lampenkonstruktionen gab man, um den Gehalt an ultravioletten Strahlen zu steigern, Eisenpulver in die Kohlenelektroden hinein. Ein Assistent Finsens, Bang, gab eine Bogenlampe mit wassergekühlten Eisenelektroden an: die sog. Dermolampe. Diese Ersatzlampen versagten aber gerade bei der Krankheit, bei welcher der Finsen-Apparat seine Triumphe feierte: bei dem Lupus und zwar deshalb, weil ihnen die Tiefenwirkung abgeht. Nur bei den Fällen, in welchen es auf starke oberflächliche Hautreaktion ankommt, geben sie günstige Erfolge: also bei fleckweisem kreisrunden Haarausfall, bei Pusteln, Ausschlägen, Fussgeschwüren u. ä.

Reicher an violetten und ultravioletten Strahlen als Eisenlicht ist das Quecksilberdampflicht. Dieses entsteht in luftleeren Röhren, in welchen sich ein bestimmtes Quantum Quecksilber befindet, welches durch einen Gleichstrom von verhältnismässig geringer Spannung in hell leuchtenden Quecksilberdampf verwandelt wird.

Die Repräsentanten dieser Lampen sind die Uviollampe von Schott & Gen. in Jena und die Quarzlampe von Küch-Kromayer. Das Uviolglas (zusammengezogen aus Ultraviolett), eine besondere Glasmasse, und Quarz lassen die ultravioletten Strahlen passieren. Beide Lampen liefern ein sehr intensives Licht, das fast frei von roten Strahlen und fast kalt ist. Das Licht der Quarzlampe ist noch heller als das der Uviollampe. Bei der Behandlung müssen die Augen durch dunkelblaue Brillen geschützt werden, da dieses Licht eine sehr heftige, schmerzhafte, aber harmlose und schnell verlaufende Bindehautentzündung hervorruft.

Das Quecksilberlicht wird bei einer ganzen Reihe von Hautkrankheiten mit Erfolg angewandt. Bemerkenswert ist, dass das Quecksilberlicht in einem gewissen Gegensatz zu den Radiumstrahlen zu stehen scheint. Denn nach Radiumbestrahlungen entstehen öfters in der schönen, weissen und glatten Narbe als Spätfolge Gefässerweiterungen und diese lassen sich durch einige kräftige Bestrahlungen mit Quecksilberlicht beseitigen.

Die Erwartung, dass demnach auch Feuermäler durch ultraviolette Strahlung geheilt werden können, hat sich erfüllt, sofern dieselben nicht zu ausgedehnt waren.

Es gelingt durch Ultraviolettbestrahlung auch in pigmentfreien vitiliginösem Gebiete künstliches Pigment zu erzeugen. Dieses künstliche anscheinend in den Epidermiszellen gebildete Pigment verschwindet nach meinen Erfahrungen nach längerer Zeit wieder, kann aber dann durch neue Bestrahlungen wieder hervorgerufen werden.

Worin besteht nun eigentlich die Wirkung des Lichtes auf die Haut?

Sie wissen, dass die Haut einem kräftigen Sonnenlicht ausgesetzt „sonnenverbrannt" d. h. rot, geschwollen, empfindlich und heiss wird oder mit andern Worten entzündet wird. Es kommt also zu einer Erweiterung und verstärkten Füllung der Blutgefässe der Haut. Wird die Einwirkung des Lichtes stärker, so werden auch die Folgen entsprechend stärker. Aus den erweiterten Blutgefässen der Haut kommt es dann zu einem Durchtritt von Blutbestandteilen bis unter die Oberhaut. Das ausgetretene Blutserum hebt die Epidermis als Blase ab. Steigert sich die Einwirkung des Lichtes noch weiter, so platzt unter dem Druck des Blutserums das Bläschen; es kommt so zur Bildung einer von der Oberhaut entblössten, leicht blutenden und nässenden Hautstelle, die sich dann wieder vom Rand her überhäutet, d. h. heilt.

Dieser ganze Vorgang hat, wie schon der Ausdruck „sonnenverbrannt" andeutet, Ähnlichkeit mit einer Verbrennung. Lange glaubte man, dass diese Entzündung durch die starke Erwärmung der Haut seitens der Sonnenstrahlen entstehe. Bei genauerer Untersuchung zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen einer Entzündung, die von Wärme herrührt und einer solchen, die vom Licht herrührt.

Bei einer Verbrennung wird die Haut sofort rot, die Lichtentzündung dagegen entsteht erst nach Verlauf einiger Stunden und erreicht ihren Höhepunkt in der Regel erst nach 12—24 Stunden. Wenn die Lichtentzündung schwindet, hinterlässt sie einen gelbbraunen Farbstoff in der Oberhaut, Pigment, was man niemals bei entsprechenden Verbrennungsgraden sieht.

Dieser Unterschied im Verlauf lässt es bis zu einem gewissen Grad wahrscheinlich erscheinen, dass Lichtentzündung und Ver-

brennungsentzündung nicht desselben Ursprungs sind. Man bedenke ferner, dass Touristen auf der Wanderung über Gletscher sonnenverbrannt werden, besonders auf der Unterseite der Nase und des Kinns, welche die vom Schnee zurückgeworfenen Strahlen treffen. In dieser Umgebung, oft in einer Temperatur unter Null, kann gewiss von einer starken Erhitzung der Haut nicht die Rede sein. Weiter besteht die Tatsache, dass man in der Nähe von starkem elektrischen Bogenlicht, das ja nicht sehr erwärmt, in hohem Grade „sonnenverbrannt" wird. Die Vermutung, dass die vom Licht hervorgerufene Entzündung in der Haut nicht auf die Wärmestrahlen, sondern auf die chemischen (blauen, violetten und ultravioletten) zurückzuführen ist, wurde schon im Jahre 1859 von dem berühmten französ. Arzt Charcot aufgestellt, der Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung wurde erst im Jahr 1889 auf experimentellem Wege von Widmark in Stockholm erbracht.

Auch die dunkle Hautfarbe der tropischen Völker hat nichts mit dem warmen Klima zu tun, sondern ist eine der nützlichen Vorkehrungen der Natur, um gegen die schädliche Wirkung der blauen, violetten und ultravioletten Strahlen zu schützen.

Ähnliche Verhältnisse finden sich bei den Tieren. Das Chamaeleon kann sich gegen den unangenehmen Lichteindruck durch Verschieben beweglicher pigmentierter Zellen gegen die Oberfläche der Haut schützen. Durch dieses Verschieben der Pigmentzellen verändert das Tier seine Farbe. Im Dunkel ist es weiss, im Licht wird es dunkel bis braunschwarz. Im roten oder gelben Licht ändert das Tier seine Farbe nicht, dagegen wird es im blauen und violetten dunkel. Der Physiologe Paul Bert fand, dass bei Belichtung der einen Körperhälfte des Tieres durch ein rotes, der andere durch ein blaues Glas sich der letztere Teil fast augenblicklich dunkel färbte, während der dem roten Lichte ausgesetzte sich lange Zeit weisslich erhielt.

Wenn Rinder und Schafe mit Buchweizen gefüttert und die Haut der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt wird, so entsteht an den nichtpigmentierten Teilen als Folge einer Futtervergiftung ein eigentümlich blasenförmiger, von allgemeinem Unwohlsein begleiteter Ausschlag. Im Dunkel stehende Tiere zeigen gar keine Krankheitssymptome, nur die Haut der weissen Tiere und der weisse Teil der Haut von scheckigen Tieren wird bei Lichteinwirkung angegriffen.

Die Lichtentzündung ist dieselbe, ob sie ausgeht von der Sonne oder von künstlichen Lichtquellen. Eine Hautentzündung ist nun zwar ein krankhafter Prozess, aber doch auch wieder ein Prozess von eminent heilender Wirkung. Seit wir erkannt haben, dass unsere besten Schutzstoffe gegen die Erreger von Infektionskrankheiten im Blute vorhanden sind, wenden wir entzündungserregende blutanstauende Prozeduren gerne dort an, wo wir Bakterien vermuten. Wir bekämpfen nicht die Entzündung, sondern unterstützen sie, da sie eine Selbstheilung des Körpers bezweckt. Ob nun z. B. bei Lupus das Licht als solches die in der Unterhaut liegenden Tuberkelbazillen tötet, oder ob indirekt diese Vernichtung der Krankheitserreger durch die Lichtentzündung, durch das Herbeiziehen der Schutzstoffe des Blutes bewirkt wird, ist unerheblich.

War Finsen ursprünglich für die ausschliessliche Verwendung der ultravioletten Strahlen in der Lichttherapie eingetreten, so ist dieser radikale Standpunkt, den übrigens Finsen selbst gegen Ende seines Lebens nicht mehr festhielt, heute verlassen; auch den übrigen, nicht bakterientötenden Strahlen, sogar den Wärmestrahlen, wird ein gewisser Effekt bei der Heilwirkung zugeschrieben. Für den Heilerfolg kommt die Gewebsentzündung in direkter Linie in Betracht, der Einfluss auf die Bakterien erst in indirekter. Die Fortschaffung des krankhaften Gewebes geschieht zweifellos durch die Lichtentzündung. Nach Ablauf der — eventuell öfters hervorgerufenen — Lichtentzündung tritt Heilung ohne Narbe ein bezw. bei Lupus Heilung mit einer so schönen Narbe, dass die Glätte derselben an Vollkommenheit alles übertrifft, was chirurgische oder ätzende Methoden zu schaffen vermögen. Bei diesen letzteren wird naturgemäss mit dem krankhaften Gewebe stets auch mehr oder weniger gesundes entfernt, die Lichtentzündung dagegen wirkt elektiv d. h. es werden nur die krankhaften Gewebsbestandteile und die Erreger der Krankheit entfernt bezw. abgetötet.

Nach den seitherigen Ausführungen handelte es sich darum, dem erkrankten Organismus ein erhöhtes Mass von Lichtstrahlung zuzuführen und dadurch eine Heilung zu erzielen. In vielen Fällen bekommen wir Heilung auf dem entgegengesetzten Weg: durch Abstinenz von der Lichtstrahlung. Wir kennen also eine aktive und eine passive Lichttherapie.

Finsen sagte sich: wenn die chemischen Strahlen des Lich-

tes Entzündung in der Haut hervorrufen können, so müssen sie auch einen Einfluss auf den Verlauf einer vorhandenen Entzündung anderen Ursprungs haben. Von dieser Überzeugung ausgehend schloss Finsen bei der Behandlung von Pockenpatienten die chemischen Strahlen durch Anbringung roter Vorhänge vor den Fenstern vollständig aus.

Die Pockenkrankheit ist, wie Sie wissen, eine ansteckende Krankheit mit typischem Hautausschlag, welcher von kleinen roten Flecken sich zu eitergefüllten Bläschen entwickelt. Diese platzen nach einiger Zeit und die Wunden heilen mit tiefliegender entstellender Narbe. Die eitergefüllten Bläschen führen zu Eiterfieber.

Das Resultat der Rotlichtbehandlung war nun sehr gut: die Eiterperiode fiel weg, es trat keine Temperaturerhöhung ein, keine Schwellung der Haut. Weil keine Eiterung sich bildete, blieben die Patienten auch von den hässlichen Narben verschont.

Diese Methode war nicht neu, wohl aber in Vergessenheit geraten gewesen. Schon im frühen Mittelalter wurde die rote Farbe bei der Pockenbehandlung in Form von rotem Bettzeug und roten Bettvorhängen angewandt. Schon im 12. Jahrhundert wird diese Behandlungsweise mit Anerkennung erwähnt.

In Rumänien ist es alte Volkssitte, das Gesicht und die Hände der Pockenpatienten mit einem Stück roten Tuches zu bedecken. Die eingeborene Bevölkerung in Tonkin bringt ihre Pockenkranken in einer mit roten Decken geschlossenen Alkove unter. Auch in ostasiatischen Spitälern wird von dieser Rotlichtbehandlung vielfach Gebrauch gemacht.

Nicht bloss bei Pocken, sondern auch bei anderen Krankheiten z. B. Masern, Scharlach, Gesichtsrose und einigen Hautausschlägen hat sich die Rotlichtbehandlung bewährt. Während bei dieser Art der Lichtbehandlung die roten Strahlen mehr im negativen Sinn d. h. als Mittel zum Ausschluss der irritierenden chemischen Strahlen zur Anwendung kommen, so werden sie doch auch im positiven Sinn als eigentliche Wärmestrahlen zu Heilzwecken benützt im elektrischen Glühlichtbad.

Das erste elektrische Glühlichtbad führte im Jahre 1894 der amerikanische Arzt Dr. Kellog in Chicago vor: ein achteckiger Holzkasten von 1,50 m Höhe und 1 qm Grundfläche, in dessen Innern sich 48 Glühlampen befanden. Die Wirkung der elektrischen Glühlichtbäder ist der Hauptsache nach Wärmewirkung

und zwar handelt es sich um strahlende Wärme im Gegensatz zu der leitenden Wärme der Dampf- und Heissluftkasten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass im Glühlichtbad durchschnittlich rascher und bei niederer Temperatur Schweissausbruch erfolgt als im Heissluftkasten. Das Glühlichtbad ist ein sehr angenehmes, bequemes, wirksames und elegantes Schwitzbad. Wir benutzen die Lichtbäder als Vorbeugungsmittel gegen Erkältungskrankheiten, bei Krankheiten rheumatischer Natur, Neuralgieen, Ischias, bei Erkrankungen der Atmungsorgane, Asthma, bei Wasseransammlungen im Körper, bei Blutarmut, bei Vergiftungen durch Blei, Quecksilber u. s. w. Nach Geheimrat Strümpell giebt es bei chronischem Bronchialkatarrh und bronchialem Asthma keine andere Behandlungsmethode, die ebenso gute Erfolge zu verzeichnen hätte, wie die elektrischen Glühlichtbäder.

In der Lichtstrahlung verfügt die Heilkunde über ein wunderbares und wirksames Mittel, das in der sorgsamen Hand des kundigen Arztes, aber auch nur in ihr, in Tausenden von Fällen Krankheit und Elend verscheuchen kann. Grenzen sind auch hier gesteckt. Denn die oben geschilderten Strahlen dringen nicht in die Tiefe des Körpers und können den in der Tiefe wuchernden kranken Zellen nichts anhaben. Vermöchten wir heilende Strahlen in die Tiefe der Organe zu senden, wir besässen ein wunderbares Hilfsmittel, um bösartigen Geschwülsten im Körper entgegenzutreten.

Es giebt nun Ätherstösse, welche die Sonne nicht zu uns sendet, die aber ungemein kurzwellig gleichsam explosiv und mit grosser Geschwindigkeit sich fortpflanzen. Sie dringen in den Körper ein und erzeugen in den durchwanderten Zellen wiederum ultraviolettes Licht. Diese Ätherstösse sind die Röntgenstrahlen.

Auf all die merkwürdigen Eigenschaften und die diagnostische Bedeutung der Röntgenstrahlen kann ich in dem Rahmen dieses Vortrags nicht eingehen. Nur insofern als die X-Strahlen eine Wirkung auf das lebende Gewebe des Körpers haben, müssen sie hier erwähnt werden. Schon im Jahre 1896, ein Jahr nach Entdeckung der Röntgenstrahlen wurden Fälle von Hautveränderung und Haarausfall nach Röntgenbestrahlungen veröffentlicht. Zunächst bemerkte man bei Leuten, die sich berufsmässig bei der Herstellung und Prüfung der Röntgenstrahlen längere Zeit und oft hintereinander den Strahlen aussetzten, Ausfall der Haare auf der bestrahlten Hautfläche. Bei weiterer

Einwirkung der Strahlen wurde die Haut rot und rissig, weiterhin kam es zu blasiger Abhebung der Oberhaut und zu nässenden Stellen, ja sogar zu tiefen, ausserordentlich schwer heilenden Geschwüren d. h. zu schwerer Röntgenverbrennung. Während bei der eigentlichen Verbrennung durch Hitze die Blasenbildung sofort einsetzt, bei der durch chemische Strahlen nach einigen Stunden, so tritt die Röntgenverbrennung erst einige Tage nach der schädigenden Bestrahlung in Erscheinung. Würden während dieser kritischen Tage weitere Röntgenbestrahlungen appliziert, so wäre die Wirkung der Überdosierung umso schlimmer. Denn in der Zwischenzeit applizierte Bestrahlungen wirken kumulierend.

Diese unerwünschten Zufälle riefen den Gedanken wach, die Röntgenstrahlen zu Heilzwecken zu verwenden. Haarausfall, Hautentzündung, Geschwürsbildung sind die drei Stadien, welche durch eine mehr oder minder starke Dosierung sich erreichen lassen. Man hat im Laufe der Zeit gelernt, die Röntgenstrahlen zu dosieren und so mit Sicherheit schädigende Nebenwirkungen zu vermeiden. Alle Schädigungen, die in den ersten Jahren nach Entdeckung dieser neuen Strahlen berichtet wurden, sind durch falsche Dosierung infolge ungenügender Kenntnis der Wirkungen der Röntgenstrahlen verursacht worden. Wir wissen heute, dass wir bei einer Röntgenbestrahlung auf die Qualität der Röhre, auf die Bestrahlungsdauer, auf den Abstand der Röhre von dem zu bestrahlenden Objekt u. a. genau zu achten haben, dass wir die benachbarten Partieen der bestrahlten Körperregion durch Bleiplatten oder ähnliches schützen müssen. Bei der therapeutischen Verwendung der Röntgenstrahlen ist heutzutage eine Gefahr so gut wie nicht vorhanden, jedenfalls ist sie unendlich viel kleiner als selbst bei ziemlich harmlosen Eingriffen anderer Art, also kleinen Operationen. Die Technik der Röntgenbestrahlung ist von grösster Bedeutung für den Heilerfolg.

Das Hauptgebiet für die Röntgenbehandlung bieten die Hautkrankheiten. Man kann ohne Bedenken sagen: fast alle chronischen Hautkrankheiten, mit Ausnahme der syphilitischen Affektionen werden von den Röntgenstrahlen günstig beeinflusst.

Der zufällig als Folge der Röntgenbestrahlungen beobachtete Haarausfall legte den Gedanken nahe, diese epilierende Wirkung bei Haarkrankheiten, bei denen Pilze an den Haaren

sitzen, zu vorübergehender Enthaarung zu benützen. Die Haare samt den Pilzen werden abgestossen, nach ca. 2 Monaten sind die Haare wieder nachgewachsen.

Durch stärkere und öftere Applikationen erzielen wir bleibende Enthaarung in Fällen, in denen sichtbare Haare an Stellen gewachsen, die normaler Weise unbehaart sein sollen z. B. auf braunen Muttermälern.

Bei chronischen Hautausschlägen leisten die Röntgenstrahlen gerade in Fällen, wo die übliche medikamentöse und Salbenbehandlung im Stiche lässt, Grosses. Die Wirkung ist prompt und vollständig, so dass man die Bestrahlung geradezu als ein souveränes Mittel bezeichnen darf. Die Röntgenstrahlen führen schnell zur Austrocknung und Überhäutung, alte Entzündungsherde, Verdickungen und Verhärtungen in der Haut schwinden, der Juckreiz hört auf. Der Einfluss der Röntgenstrahlen auf jeden Juckreiz ob symptomatischer oder essentieller Natur, ob lokal oder universell ist manchmal geradezu wunderbar schnell und vollständig. Auch der bereits bei Erörterung der Finsenmethode erwähnte Lupus, namentlich die geschwürige Form wird durch Röntgenbestrahlung günstig beeinflusst.

Röntgenstrahlen haben, wie bereits erwähnt, eine zerstörende Wirkung auf die Oberhautzellen und können auf normaler Haut so zur Bildung eines Geschwürs führen; bei der krankhaften Wucherung dieser Oberhautzellen, bei den sog. Hautkrebsen vernichten sie dieselben: diese bösartige Geschwulst heilt durch Röntgenbestrahlung und zwar mit sehr schönem kosmetischem Resultat, ohne sichtbare Narbe.

Während die Röntgenstrahlen bei Hautkrebsen in Tausenden von Fällen mit Erfolg angewandt wurden, so versagen sie leider bei den in der Tiefe des Körpers sitzenden Krebsen z. B. Magenkrebsen. Bei Magenkrebs wurde Verlangsamung des Wachstums, Abnahme der Störungen und Schwinden der Schmerzen, aber keine Heilung erzielt.

Auch bei Brustkrebs der Frauen wird man die operablen Fälle dem Chirurgen überweisen; bei den inoperablen stiftet die Radiotherapie noch grossen Nutzen: der Krebs schrumpft, jauchende Geschwüre reinigen und überhäuten sich, Drucksymptome gehen zurück und Schmerzen schwinden.

Vermöge ihrer grossen Penetrationskraft dringen die Röntgenstrahlen in die innersten Organe des Körpers. Aber bei der

enormen Wachstumsenergie der Krebsgeschwülste im Innern des Körpers gelangen sie nicht in genügender Quantität an den Krankheitsherd. Wohl aber reicht die Quantität aus zur Bekämpfung einer der schlimmsten Blutkrankheiten, der Leukaemie, bei welcher es sich um eine übermässige Vermehrung der weissen Blutkörperchen handelt. Normaler Weise kommen auf 1 farbloses Blutkörperchen 500—800 rote. Bei der Leukaemie kann dieses Verhältnis bis auf 1:50—20, sogar 1:1 steigen. Die Drüsen, Milz und lange Röhrenknochen als die Bildungsstätten der Blutkörperchen werden bestrahlt. Früher unrettbar dem Tode verfallen, leben diese Leukaemiker nach wenigen Bestrahlungen neu auf und können manchmal Jahre lang noch am Leben erhalten werden.

Als dankbares Objekt der Röntgentherapie aus dem Gebiet der inneren Krankheiten will ich noch die Basedow'sche Krankheit erwähnen, gekennzeichnet durch die Trias: Kropf, Herzklopfen (120—140 Schläge pro Minute) und Glotzaugen. Die Röntgenbestrahlung bringt durch Bestrahlung der Schilddrüse Besserung des Gesamtbefindens, Gewichtszunahme, Besserung der Herzbeschwerden, Volumabnahme des Kropfes, Abnahme der Beklemmungserscheinungen, des Zitterns, der Schweisse u. s. w.

Bronchiales Asthma wird ebenfalls durch X-Strahlen günstig beeinflusst.

Von dem Gebiet der Frauenkrankheiten will ich nur kurz erwähnen, dass infolge Bestrahlungen durch die Bauchdecken Muskelgeschwülste der Gebärmutter, starke Blutungen, Periodenschmerzen eine deutliche und günstige Beeinflussung derart erfahren, dass Schmerzen wie Blutungen an Stärke nachlassen und Geschwülste sich verkleinern. Durch diese Bestrahlungen werden die Eierstöcke atrophisch, wir können auf diese Weise Sterilität herbeiführen. Durch Bestrahlung der schwangeren Gebärmutter kann Abortus erfolgen. Beim Mann führt Bestrahlung der Hoden ebenfalls zur Sterilität, die Samenzellen gehen zu Grunde; verloren geht nur die potentia generandi, erhalten bleibt die libido sexualis und die potentia coeundi.

Niemand kann sich mehr der Überzeugung verschliessen, dass wir der genialen Entdeckung Röntgens nicht nur für die Erkennung von Krankheiten, sondern auch für die Heilung solcher unendlich viel verdanken und dass sich in der Zukunft noch weitere Gebiete der Röntgenbehandlung erschliessen werden.

Wir kennen endlich noch Strahlen, welche ohne weiteres Zutun unsererseits von gegebenen Naturkörpern fortwährend ausgesendet werden: Die Strahlen des Radiums.

Der Arzt verfügt in der Radioaktivität über einen wichtigen Heilfaktor, der nicht nur in der intensiven Strahlung einiger seltener Elemente und Verbindungen, sondern auch in den heilkräftigen Geschenken des natürlichen Bodens, in den medizinischen Quellen und Erden zur Geltung kommt. Radioaktiv sind Uran, Polonium, Aktinium und in besonders hohem Grade Radium. Dieses giebt ausser der starken Strahlung unter Wärmebildung kontinuierlich ein Gas, die Emanation, ab.

Man verwendet therapeutisch für gewöhnlich 5—10 mgr Radiumbromid. Je mehr und je hochwertigeres Radiumbromid, umso kürzer die Expositionszeit. Dasselbe ist in dünner Schicht verteilt in Ebonit- oder Metallkapseln mit Verschluss von dünnen Glimmer-, Aluminium- oder Hartgummiplättchen. Diese Kapsel wird der Hautoberfläche angedrückt.

Die biologischen Wirkungen der Radiumstrahlen sind ähnlich denen der Röntgenstrahlen. Nach einer Incubationszeit von mehreren Tagen oder Wochen bewirkt die Radiumbestrahlung auf der Haut Haarausfall und Reaktion 1.—3. Grades d. h. Rötung, Blasenbildung, Geschwür. Kleine Säugetiere können durch lange Radiumeinwirkung getötet werden, Bakterienkulturen werden im Wachstum aufgehalten, Pflanzenblätter welken.

Das Anwendungsgebiet des Radium ist im grossen und ganzen von dem der Röntgenstrahlen nicht sehr verschieden. Fast alle den Röntgenstrahlen zugänglichen Formen der Hauterkrankungen und bösartigen Geschwülste können sofern sie oberflächlich liegen und nicht zu gross sind, auch durch Radiumbestrahlung günstig beeinflusst werden, vor allem auch Muttermäler. Vor der Röntgenbehandlung hat die Radiumtherapie den Vorteil, dass sie einfach und bequem anzuwenden ist, speziell auch an schwer zugänglichen Stellen z. B. weicher und harter Gaumen u. ä.

Bei ausgedehnten Krankheitsherden ist die Röntgenbestrahlung mit der Bestreichung grosser Flächen und stärkerer Tiefenwirkung der Radiumstrahlung weit überlegen.

Weit grösseres Interesse als die Radiumstrahlung besitzt für Bäderbehandlung die Radiumemanation. Denn in den Wassern kommt nur die gasförmige, im Wasser lösliche Emanation zur

Wirkung. Auf dem Gehalt an Emanation soll die Heilwirkung beruhen. Im Hinblick auf die Radioaktivität zahlreicher Heilquellen z. B. Wiesbaden, Kreuznach, Gastein u. a. hat man versucht, die Radiumemanation künstlich an gewöhnliches Wasser zu binden, indem man ein wasserunlösliches Radiumpräparat in einer Pergamentpapierhülle in einem Wassergefäss verschlossen aufbewahrte. Die Radiumemanation diffundiert in das Wasser hinein und kann mit diesem getrunken bezw. in Bädern verwendet werden.

Für die Behandlung mit Radiumemanationsbädern eignen sich chronisch rheumatische Erkrankungen, ferner Ischias und die Schmerzsymptome bei Rückenmarksschwindsucht.

Ich habe versucht Ihnen einen Überblick über die grossen Gruppen der Lichtbehandlung mit Sonnenlicht, mit elektrischem Licht und mit Röntgen- und Radiumstrahlen zu geben. Nach harten Kämpfen ist heute das Licht als wissenschaftlicher Faktor und Heilmittel ersten Ranges anerkannt. Bei einer grossen Reihe von Erkrankungen kann die Strahlenbehandlung vollen Erfolg versprechen, ja sie leistet manchmal mehr wie jede andere Behandlungsart. Bei einer Reihe anderer Affektionen ist die Lichtbehandlung den sonst üblichen Methoden mindestens gleichwertig.

Dänemark verausgabt alljährlich eine Summe von 25,000 Kronen zur Behandlung mittelloser Lupuskranker im Lichtinstitut zu Kopenhagen. Diese soziale Fürsorge kann anderen Staaten als Muster dienen. Neuerdings ist auch in Deutschland die Errichtung von Lupusheilstätten geplant. Diese furchtbare, besonders das menschliche Antlitz entstellende Krankheit muss schon aus Gründen der Volkswohlfahrt und der Humanität bekämpft werden.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Lichtbehandlung nur in der Hand von Ärzten mit der nötigen Vorbildung Segen bringen kann. Frankreich hat deshalb die Behandlung mit Röntgenstrahlen den Laien gesetzlich verboten. Verhängnisvoll wird die Anwendung, wenn Unverständnis sich der Strahlenbehandlung bemächtigt. Dann gilt das Dichterwort: „Weh denen, die den ewig Blinden des Lichtes Himmelsfackel leihn! Sie leuchtet nicht, sie kann nur zünden.“

Über angeborene und erworbene Immunität.

(Mischinfektion.)

Von Stadtarzt Dr. **Karl Sing, Ulm a. D.**

Ranke hat in der Münchener Medizin. Wochenschrift vom 20. Oktober 1896 die Ergebnisse einer genauen bakteriologischen Untersuchung mehrerer Fälle von Diphtheritis veröffentlicht und gelangt zu dem Resultate, dass in der überwiegenden Mehrzahl von Fällen eine Mischinfektion von Löffler's Diphtherie-Bazillus und Streptokokkus pyog. aur. vorliegt und zwar in 47,7%, während sich in 38,8% sämtlicher Diphtheriefälle Streptokokkus pyog. aur. allein vorfand und andererseits Diphtherie Baz. in Reinkultur nur in 5,9% aller Fälle nachzuweisen war. Er konstatiert ferner, dass die grössere Häufigkeit der Streptok. Diphtherie charakteristisch für Skarlatina ist.

Das Überraschende obiger Zusammenstellung liegt meiner Ansicht nach darin, dass in der weitaus überwiegenden Mehrzahl aller Fälle und zwar in zusammen 86,5% das Vorhandensein des Streptok. pyog. aur. nachgewiesen wurde, sowie darin, dass die meisten Fälle von Diphtherie keine Infektion mit Reinkulturen von Diphth. Baz. sondern nur Mischinfektionen darstellen. Die Erkenntnis dieser Tatsache dürfte zu der weiteren Folgerung führen, dass in dem neben einander Vorkommen beider Bakterienarten (des Diphth. Baz. und des Streptok. pyog. aur., des eigentlichen Eitererregers) ein Moment gegeben ist, welches bei der Erforschung der Infektionskrankheiten überhaupt bisher zu wenig berücksichtigt wurde, ein Moment jedoch von

weittragender Bedeutung, insbesondere dann, wenn es nachgewiesen wäre, dass jene Diphtheriefälle der Ranke'schen Zusammenstellung, welche sich als Reinkulturen von Diphth. Baz. darstellten, nur die leichteren oder Anfangs-Stadien dieser spez. Krankheit beträfen, und ferner, wenn sich nachweisen liesse, dass ein neben einander Vorkommen des Streptok. pyog. aur. mit anderen spezifischen Krankheitserregern nicht nur bei Diphtherie zu konstatieren ist, sondern auch bei vielen anderen Infektionskrankheiten und hier besonders wieder bei den schwereren Formen dieser Krankheiten, und wenn endlich nachzuweisen wäre, dass das Vorhandensein des Streptok. pyog. aur. bei irgend einer Infektionskrankheit, nicht nur eine schwere Komplikation dieser Krankheit darstellt, sondern geradezu als massgebender Faktor zur Entstehung irgend einer Infektionskrankheit neben dem eigentlichen, spez. Krankheitserreger anzusehen ist.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass auch bei Tuberkulose neben dem eigentlichen Krankheitserreger, dem Tuberkel-Baz. der Streptok. pyog. aur. vorkommt und Buchner hat in einer Vorlesung über Hygiene im Sommersemester 1895 gerade den Umstand, dass Koch bei Herstellung seines Tuberkulins das Vorhandensein des Streptok. pyog. aur. nicht in Betracht zog, dafür verantwortlich gemacht, dass die Wirkung des Tuberkulins in vielen Fällen ausblieb.

Dass in der Tat dem Streptok. pyog. aur. in Bezug auf Verlauf und Schwere einer tuberkul. Erkrankung eine bedeutende Rolle zuzuweisen ist, dürfte der Umstand beweisen, dass eine Infektion mit Tuberkel-Baz. allein vielfach blosse Miliartuberkulose erzeugt, wobei es unter Einwirkung besonderer, günstiger Umstände, die noch unten näher angezogen werden sollen, vorkommt, dass diese kleinen, käsigen Herde heilen. Sie verfetten, zerfallen und werden resorbiert. Kleine Herde können auch unter Ablagerung von kohlens. und phosphors. Kalk in Verkreidung übergehen. Es können die kleinen Herde endlich auch wieder vaskularisiert und wieder ernährt werden.

Ferner verdient hier die Tatsache Erwähnung, dass sich bei Obduktionen von Leichen in den Bronchialdrüsen und Mediastinaldrüsen häufig Tuberkelbazillen finden, ohne dass die Kranken an Tuberkulose zu grunde gingen.

In schwereren Fällen von Tuberkulose nun ist neben dem eigentlichen Krankheitserreger (derselbe kommt an und für sich

sehr spärlich vor) immer noch der Streptok. pyog. aur. nachzuweisen gewesen und ich bin geneigt, gerade diesen Umstand als eine Komplikation schwerster Art zu betrachten.

Bringen wir einen an Tuberkulose Erkrankten in schlechte Luft, d. h. in Luft, welche zahlreiche Keime von Streptok. p. a. enthält resp. belassen wir einen solchen in derart verunreinigter Luft, so leidet die Ernährung des Kranken, sowie die Oxydation des Blutes und die schlechte Luft erzeugt auf den Schleimhäuten Hyperämie und Katarrh. Dieser Umstand lässt wohl daran denken, dass der Streptok. p. a. die Wege ebne, auf welchen der Tub.-Baz. gewöhnlich einzudringen pflegt, dass er den Nährboden vorbereite, auf welchem der Tub.-Baz. sich weiter entwickeln kann.

Indessen, wenn dies alles auch nur hypothetisch ist, so ist gewiss doch soviel sicher, dass wir alle Fälle von schwerer Tuberkulose als eine gemeinsam von dem Tub.-Baz. und dem Streptok. p. a. erzeugte Krankheit als eine Mischinfektion aufzufassen haben.

Beide bisher besprochenen Infektionskrankheiten, die Diphtherie sowohl wie die Tuberkulose, wurden im Laufe der letztverflossenen Jahre mit spezifischen Heilmitteln, dem Behring'schen Diphtherie Heilserum und dem Koch'schen Tuberkulin zu bekämpfen versucht. Beide Heilmittel gehen auf eine Unschädlichmachung des eigentlichen, spezifischen Krankheitserregers aus; und während nun das Tuberkulin, nach kurzem Blütestadium, wegen der Unsicherheit seiner Wirkung und den unangenehmen Folgeerscheinungen seiner Anwendung ebenso bei dem Publikum in Misskredit kam als von den ärztlichen Sachverständigen verurteilt wurde, hat sich das Diphtherie Heilserum wohl die dauernde Gunst aller Ärzte erworben, da es in der Tat ein Spezifikum gegen Diphtherie darstellt, vorausgesetzt, dass es nicht zu spät angewendet wird.

Es könnte nun fraglich erscheinen, ob das Diphth. Heilserum auch in jenen Fällen eine Anwendung zu finden habe, welche nach Ranke's Untersuchungen nur als Streptokokken Diphtherie aufzufassen sind, und welche immerhin zirka 40% aller Diphtherie-Fälle darstellen, und ob das Diphth. Heilserum in diesen Fällen überhaupt einen Einfluss auf den Krankheitsverlauf ausübt.

Die praktische Erfahrung lehrt, dass in der Tat alle Fälle von Diphtherie, wenn sie nur rechtzeitig in Behandlung kommen

und wenn das Diphth. Heilserum in der richtigen Menge eingespritzt wird, zur Heilung gelangen. Ich habe im Laufe des Jahres 1896 selbst 136 Einspritzungen mit Diphth. Heilserum vorgenommen und hiebei nur 5 Todesfälle zu verzeichnen, welch' letztere nur darauf zurückzuführen waren, dass die Einspritzungen in diesen Fällen erst am 5.–7. Tage nach eingetretener Erkrankung vorgenommen werden konnten. Andere Beobachter sind zu ähnlichen Resultaten gekommen. Nach den Ranke'schen Untersuchungen ist nun mit grösster Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass auch in den von mir behandelten Fällen der grösste Teil Mischinfektionen waren, während andere in Verbindung mit Scharlach und langsamer Heilung vielleicht als Streptokokken-Diphtherie aufzufassen waren und nur der kleinste Teil als Diphtherie mit Reinkulturen von Diphth. Baz. auftrat, letztere mit einer sehr kurzen (2—3tägigen) Krankheitsdauer. Ähnlich werden die Verhältnisse in den Tausenden von in der Litteratur in jüngster Zeit aufgeführten Fällen geheilter Diphtherie gelagert sein. Und woher nun die Heilerfolge auch bei einer Streptokokken-Diphtherie?

Wenn wir annehmen wollen, dass nur jene Fälle von Diphtherie, welche eine Mischinfektion von eigentlichen Diphtherie-Baz. und Streptok. p. a. zeigen, als Diphtherie per se resp. als schwerste Form der Diphtherie anzusehen sind, so lässt sich eine Erklärung dieses immerhin merkwürdigen Vorganges wohl finden.

Darnach wäre sowohl eine reine Streptokokken-Diphtherie als eine Diphtherie mit Diphth.-Baz. in Reinkultur als ungefährlich anzusehen und erst eine Kombination beider Bakterienarten würde eine schwere Komplikation der ursprünglich ungefährlichen Krankheit bedingen. Wenn nun bei der Mischinfektion durch Einspritzung des Behring'schen Diphth.-Heilserums die Wirkung des einen Krankheitserregers, des Diphth.-Baz., eliminiert und dadurch die komplizierte Krankheit zu einer einfachen, ungefährlichen gemacht wird, so wird durch Einspritzung des Heilserums bei Streptok.-Diphtherie verhindert, dass sich der eigentliche Krankheitserreger überhaupt ansiedeln kann und bei reiner Diphtherie bewirkt, dass durch die rasche Unschädlichmachung des eigentlichen Krankheitserregers eine allenfallsige, spätere Komplikation mit Streptok. p. a. wegfällt. Daher auch ein rascher Krankheitsverlauf bei Diphtherie mit Reinkultur von Diphth.-Baz., ein sehr protrahierter bei Streptok.-Diphtherie.

Fassen wir auch die Tuberkulose als Mischinfektion mit Tub.-Baz. und Streptok. p. a. im Sinne der eben beschriebenen Diphtherie Mischinfektion auf und die Mischinfektion als schwerste Komplikation der Tuberkulose, während eine Infektion mit nur Tub.-Baz. als leichteste Form anzunehmen wäre, so liesse sich wohl auch die Wirkung des weiland Tuberkulin ebenso wie die des Diphth.-Heilserums erklären, nur wäre hiebei noch zu berücksichtigen, dass bei Tuberkulose im Vergleich mit Diphtherie fast durchweg in sehr vorgeschrittenem Stadium der Krankheit eingespritzt wurde, ein Umstand, der auch bei Diphtherie sehr ungünstig ins Gewicht fällt und ferner, dass bei Tuberkulose die Wirkung des Tub.-Baz. gegenüber der des Streptok. p. a. bedeutend in den Hintergrund zu treten scheint, was schon daraus erhellt, dass Tub.-Baz. im Sputum Tuberkulöser nur sehr schwer und sehr spärlich aufzufinden sind.

Dabei werden alle, welche das Tuberkulin in den ersten Stadien der Krankheit anwenden konnten, noch in Erinnerung haben, dass diese Fälle fast ausnahmslos durch die Einspritzungen günstig beeinflusst wurden, ja, dass direkte Heilungen dabei erzielt wurden.

Fragen wir uns weiter, sind auch andere Infektionskrankheiten als Mischinfektionen aufzufassen, resp. tritt auch bei ihnen eine Komplikation ein durch Hinzutritt des Streptok. p. a. zu dem eigentlichen Krankheitserreger, so lässt sich diese Frage auf Grund der vorliegenden bakteriologischen Untersuchungsresultate nicht ohne weiteres beantworten, da Untersuchungen in dem angedeuteten Sinne nicht gemacht, sondern im allgemeinen nur nach dem spezifischen Krankheitserreger gesucht wurde; jedoch soll im nachfolgenden versucht werden, einige Gründe aufzuführen, welche eine derartige Anschauung rechtfertigen liessen.

Vor allem möchte ich in dieser Beziehung anführen, dass alle Infektionskrankheiten, wenigstens in ihren Anfangsstadien, bestimmte, gemeinsame Krankheitssymptome zeigen, so Benommensein des Kopfes, Fieber, toxische Symptome, Nekrosen u. s. w. Ferner ist gewiss auch bemerkenswert, dass die meisten Infektionskrankheiten in ihren schwersten Formen von gewissen, fast allen gemeinsamen Begleitkrankheiten oder Folgekrankheiten heimgesucht werden, und erinnere ich in dieser Beziehung nur an das Vorkommen von Pleuritis, Perikarditis, Dysenterie,

Nephritis, bei resp. nach den verschiedensten Infektionskrankheiten.

Es wäre nun doch wohl denkbar, dass diese gemeinsamen Krankheitssymptome, diese gemeinsamen Begleit- und Folgekrankheiten auch eine gemeinsame Ursache haben und diese Ursache lässt sich am besten damit erklären, dass wir für alle diese Erscheinungen den Eitererreger, den Streptok. p. a. als ursächlich annehmen und zwar umsomehr, wenn wir sehen, dass alle diese Symptome und Krankheiten bei der sogenannten Streptokokken-Reininfektion, der Pyämie, vorgefunden werden.

Sehen wir uns im weiteren einzelne Infektionskrankheiten — diese Erörterung auf alle Infektionskrankheiten auszudehnen, dazu fehlte mir vor allem das hiezu nötige wissenschaftliche Material besonders bezüglich der bakteriolog. Befunde bei den einzelnen Krankheiten — im Sinne der bisherigen Ausführungen näher an, so werden wir finden, dass auch hier sich wiederholt der Typus der Mischinfektion mit Streptok. p. a. und eigentlichem Krankheitserreger vorfindet.

Nach Weichselbaum findet sich bei Pneumonie:

1) Diplok. Pneumonie (Fränkel),
2) Bazillus Pneumonie (Friedländer),
3) Streptok. Pneumon. = Streptok. pyog. und erysipelat.,
4) Staphylok. bei sekundärer Lungenentzündung = Staphulok. pyog. aur. und alb.

Hiezu bemerkt Kordanyi (Eulenburgs Real-Enzyklop. Band XII, pag. 190) „Es scheint festzustehen, dass bei Lungenentzündung immer 2 dieser Organismen wirksam sind“ und pag. 192, l. c. „Soviel scheint festgestellt zu sein, dass kein Fall von Lungenentzündung vorkommt, ohne dass einer der sogenannten Pneumonie-Organismen nachzuweisen wäre und dass in manchen Fällen auch 2 dieser Organismen vorhanden sind.“ Daneben ist jedoch sehr bemerkenswert, dass der Fränkel'sehe Diplok. und der Friedländer'sche Pneumonie-Baz. auch beim gesunden Menschen im Mundspeichel u. s. w. vorkommt. Es scheint also erst eine Kombination mit Streptok. p. a. die Gefahr der Infektion mit Pneumonie herbeizuführen.

Es ist eine weitere Tatsache, dass bei einfachem Augenkatarrh Streptokokken nachzuweisen sind. Eine Komplikation des einfachen Augenkatarrhs mit Blennorhöe, der so gefährlichen

Augenkrankheit, ergibt auch hier wiederum als bakteriologischen Befund: Gonokokk. plus Streptok. p. a. also Mischinfektion.

Bei Cerebrospinalmeningitis sind von Marchiafava und Celli als Krankheitserreger Diplokokken von ovaler Form nachgewiesen worden. Hiezu bemerkt Keubner (l. c. Band IV, pag. 102) „Bemerkenswert dürfte sein, dass namentlich die von Leyden und Marchiafava geschilderten Formen von Mikroorganismen morphologisch denjenigen nahe zu stehen scheinen, von denen wir wissen, dass sie die Ursache von akuten Eiterungen im Organismus darstellen.“ Wenn wir noch sehen, dass sich namentlich an den sogen. serösen Hydrokephalus Eiterungen in den Gelenken und deren Umgebung, Muskel-Eiterungen, eitrige Pleuritis und Perikarditis u. s. w. anschliessen, so dürfte auch hier wieder eine Kombination des eigentlichen Krankheitserregers mit Streptok., eine Mischinfektion als nachgewiesen anzunehmen sein.

Impfversuche mit dem Blute Syphilitischer erzeugen unbedeutende lokale Reizerscheinungen und Veränderungen (aber nicht Syphilis) dagegen sind Impfungen mit dem Eiter Syphilitischer ungeheuer ansteckend. „Dies beweist“, sagt Grünfeld, l. c. Band XIX, pag. 323, „dass die Wahrscheinlichkeit eines positiven Impferfolges, sowie auch der Grad des Effektes von der Beschaffenheit des Sekretes im allgemeinen und von dem Gehalte desselben an Eiter und Gewebstrümmern, also von irritativen Medien überhaupt abhängig ist.“ Dabei wird noch das Auftreten örtlicher Formen durch besondere patholog. Zustände der betreffenden Organe begünstigt, z. Bsp. Kehlkopf-Syphilis nach Kehlkopfkatarrh.

Es scheint ferner unter allen Umständen festzustehen, dass sowohl der Typhusbazillus wie auch der Cholerabazillus besonderer Hilfskräfte zu ihrer Fortentwicklung im menschlichen Organismus bedürfen, denn es ist feststehende Tatsache, dass beide Bazillen im Darme viel länger lebendig und wirkungsfähig bleiben als die Krankheitserscheinungen dauern. Es ist feststehende Tatsache, dass beide Bazillen schon lange vor Ausbruch der Krankheit sich im menschlichen Darme vorfinden, ohne dass besondere Erscheinungen auftreten, ja ohne dass die Krankheit überhaupt zum Ausbruch kommt, und dass der typhöse Prozess von verschiedenen Bakterienarten begleitet sein kann. Und diese Hilfskraft ist möglicher-, ja höchst wahrscheinlicherweise

wieder der Eitererreger, jene dritte Unbekannte, jene persönliche Disposition, von der wir wohl wissen, dass sie vorhanden ist, aber nicht worin sie ureigentlich besteht.

Nur vorübergehend möchte ich daran erinnern, dass sich bei Pyämie Staphylokokken in Verbindung mit Streptok. p. a. vorfinden, dass bei Erysipel Streptok. p. a. und Streptok. Fehleisen, bei Skarlatina Streptok. und Kettenkokken, bei Gonorrhoe Streptok. und Gonokokken nachgewiesen sind, dass bei Variola Spaltpilze in Verbindung mit Eiterkörperchen, bei Varizellen einzelne und in Kettenform geordnete Spaltpilze neben Eiterkörperchen, bei Tuss. convuls. neben dem eigentlichen Krankheitserreger (Ustil. Maidis?) entzündliche Affektion der Respirationsschleimhaut verursacht durch Streptok. vorkommen, dass es sich also auch bei diesen Infektionskrankheiten um Mischinfektionen unter Beteiligung des Streptok. p. a. handeln wird.

Ich gebe zu, dass der Beweis einer Mischinfektion, abgesehen von Diphtherie und Tuberkulose, für die später genannten Krankheiten nicht vollständig erbracht ist und auch mangels des nötigen Materials und einer unbedingt notwendigen praktischen Untersuchung rein theoretisch nicht erbracht werden kann, indessen gewinnt die Hypothese, dass der Eitererreger zur Entstehung vieler, wenn nicht aller Infektionskrankheiten neben dem eigentlichen Krankheitserreger entschieden mitwirke nach dem bisher gesagten grösste Wahrscheinlichkeit und noch mehr, wenn ein weiteres Moment berücksichtigt wird, welches gegenwärtig zur Ermittlung spezifischer Krankheitskeime im Vordergrunde der Forschung steht, das Tierexperiment, die Impfversuche.

Trotzdem es gelungen ist für fast alle unserer bekannten Infektionskrankheiten das spezifische Krankheitsgift, den Krankheitserreger, festzustellen, sind doch die Tierversuche mit wenigen Ausnahmen negativ ausgefallen; und wenn auch angenommen werden will, dass hiebei ein besonderer Umstand massgebend ist, eine gewisse Immunität der Tiere gegen viele menschliche Infektionskrankheiten, so trifft dieser Umstand doch nicht für alle Fälle zu.

Bemerken wir nochmals den Umstand, dass Impfversuche mit dem Blute Syphilitischer ziemlich negativ ausfallen, dass jedoch Impfungen mit dem Eiter Syphilitischer sehr ansteckend wirken, so ist uns hiemit meines Erachtens wieder ein Fingerzeig gegeben.

Hermann Eichhorst sagt bei Besprechung der Ruhr (l. c. Band XVII, pag. 159) „Bei Kaninchen gelang es Rajewsky (Ruhr) Darmdiphtherie dadurch zu erzeugen, dass er den Tieren (Ruhr) bakterienhaltige Flüssigkeit in das Blut injizierte. Aber sehr bemerkenswert erscheint es, dass der Versuch nur dann gelang, wenn die Darmschleimhaut zuvor durch dünne Ammoniaklösung in einen katarrhalischen Entzündungszustand versetzt worden war.“ Daneben „Zuweilen machen die Leichen den Eindruck von Pyämischen. Man findet in vielen Organen Abszesse und in den serösen Höhlen eitrige Entzündungen vor.“

Durch diese beiden Tatsachen scheint mir der Beweis geliefert, dass jeder spezifische Krankheitserreger nicht sofort als solcher wirksam sein kann, sondern dass erst eine Einwirkung einer besonderen Hilfskraft erforderlich ist, um den Ort seiner zukünftigen Wirksamkeit gehörig vorzubereiten, mit einem Worte, dass es zuerst der Einwirkung einer anderen Noxe auf Blut, Schleimhäute u. s. w. bedarf, der Einwirkung des Entzündungs- und Eitererregers, des Streptok. p. a., um dieselben für die folgende Schädlichkeit in der geeigneten Weise vorzubereiten und dass es bei Impfversuchen darum auch notwendig ist, die zu affizierenden Organe zuerst durch mechanische, chemische Mittel in den sonst natürlichen Entzündungszustand zu versetzen oder aber sofort mit dem eigentlichen Krankheitserreger auch zugleich dessen Hilfskraft, den Streptok. p. a., überzuimpfen.

Sind die Infektionskrankheiten in der Tat, wie eben zu beweisen versucht wurde, Mischinfektionen, so ist es, nach dem bisher gesagten, ebenfalls wahrscheinlich, dass es sich um Infektion mit dem spezifischen Krankheitserreger und mit Streptok. p. a. handelt und dass diese beiden Bakterienarten in einer Art Symbiose leben, d. h. dass einer der beiden zuerst den Nährboden vorbereite, auf welchem der andere sich dann weiter entwickeln kann, resp. dass der eine derselben aus dem Blute, den Körperorganen, Stoffe ausfälle, welche der andere zur gedeihlichen Fortentwicklung bedarf. Diese Art der Symbiose liesse sich ähnlich erklären, wie die der Aktinien und Algen, 0 Ausscheidung bei der Pflanze und 0 Bindung beim Tiere. Es liesse sich allenfalls denken, dass das 0 Bedürfnis der aëroben, pathogenen Bakterienarten in dem bekanntlich $C0_2$ überreichen Gewebsparenchyme durch die tätige Mitwirkung des Streptok. p. a. gedeckt würde; oder es liesse sich denken, dass eine massen-

hafte Streptokokken-Ansiedlung im Blute oder im Darmsafte, die starke Alkaleszenz dieser Körpersäfte herabsetzte und dieselben dadurch zur Entwicklung der spezifischen Krankheitserreger geeigneter machte, wie wir ja auch sehen, dass anämische, kachektische Individuen, bei welchen die Alkaleszenz des Blutes herabgesetzt ist, zur Erkrankung an spez. Infektionskrankheiten mehr disponiert sind als ganz gesunde.

Oder es liesse sich denken, dass die Streptok. eine vermehrte Säurebildung in den Körpersäften und hiedurch eine Ansammlung organischer Säuren bei relativem Mangel an Kali in den Körpersäften bewirkten; oder endlich es liesse sich denken, dass die Tätigkeit der Streptok. wesentlich in der Bildung gewisser, giftiger Eiweissstoffe, Ptomaïne, bestünde, welch letztere in Verbindung mit der spezif. Tätigkeit der eigentlichen Krankheitserreger in den speziellen Organen das jeweils typische Bild einer schweren, spez. Infektionskrankheit erzeugten.

Zuelzer sagt (Band I, pag. 23, l. c.) gelegentlich der Besprechung des Abdominaltyphus: „Zur Hervorrufung der putriden Intoxikation (bei Abdominaltyphus) bedarf es der Mitwirkung gewisser Bakterien plus eines eigenartigen Giftes, eines Ptomaïns. Seitdem ich mit Sonnenschein ein solches Alkaloid aufgefunden habe, welches sich bei Fäulnis von Muskelfleisch bildet und welches in seiner Wirkungsweise mit dem Atropin grosse Ähnlichkeit darbietet, sind zahlreiche andere Alkaloide aufgefunden, die sich unter denselben Verhältnissen, aber in sehr verschiedenen Stadien der Fäulnis und in verschiedenen der Fäulnis unterliegenden Substanzen entwickeln, wohl als Produkt der Lebenstätigkeit der Bakterien und die nach verschiedenen Richtungen in mehr oder weniger hohem Grade giftig wirken."

Weigert bemerkt (Band XVI, pag. 283) „Es ist einmal noch nicht aufgeklärt, wie so diese Mikroorganismen (die gewöhnlichen Eiterkokken) deren grosse Verbreitung allgemein bekannt ist, das eine mal nur unschädliche Lokalaffektionen machen, das andere mal auf die Blutbahn übertreten. Für manche Fälle mögen, ähnlich wie dies für die akute Miliartuberkulose gilt, mehr zufällige Lokalisationen an gewissen disponierten Orten, dicht an Venen, am freigelegten Knochenmark u. s. w. verantwortlich zu machen sein, für andere Fälle aber kann man nicht umhin, eine (durch beigefügte Hilfsstoffe) stärkere Virulenz der Eitermicrobien zu supponieren."

Und diese Hilfsstoffe könnten unter Umständen eben die spezifischen Krankheitserreger sein, welche in ihrer Tätigkeit auf spezielle Organe, die Lungen, den Magen, den Darmkanal u. s. w. beschränkt sind.

Wie indessen dem immer sei, soviel ist doch in hohem Grade wahrscheinlich, dass das Vorhandensein des eigentlichen Krankheitserregers plus Streptok. p. a. eine schwere Komplikation einer jeden Infektionskrankheit darstellt.

Nehmen wir als erwiesen an, dass die Infektionskrankheiten auf einer Mischinfektion mit dem spezif. Krankheitserreger und dem Eiterkokkus beruhen, so wird sich daran auch die Frage anknüpfen müssen, welche der beiden Bakterienarten in dem Organismus präexistiere.

Wenn wir bedenken, dass die Möglichkeit einer Infektion mit Streptokokken wegen deren grosser Verbreitung eine sehr grosse ist, so werden wir zu der Annahme gedrängt, dass auch der Streptok. bei dem Ausbruche einer jeweiligen Infektionskrankheit präexistiere, dass er der wesentlichste Faktor überhaupt zum Entstehen einer Infektionskrankheit sei. Wir werden zu dieser Annahme ferner gedrängt durch die Untersuchungen Ranke's, wonach in 86,5% aller Diphtheriefälle Streptok. nachzuweisen sind, ja sich in 38,8% sämtlicher Fälle in Reinkultur vorfinden. Und endlich muss uns in dieser Annahme auch noch der Umstand bestärken, dass chronische, profuse Eiterungen, katarrh. Affektionen der Atmungsorgane zur Erwerbung der Tuberkulose prädisponieren, dass ein Erysipel sich meist an bestehenden Ohrenfluss, an Nasenkatarrh, an Konjunktivit. anschliesst, dass Skarlatina sehr häufig bei infiz. Wöchnerinnen, nach sept. Operationswunden, Kehlkopfsyphilis nach entzündlichem Katarrh des Kehlkopfs auftritt u. s. w. u. s. w. Daneben kommt auch noch in Betracht, was ich im folgenden über die Immunität gegen Streptok. p. a. ausführen möchte.

Zunächst ist in dieser Beziehung gewiss die Tatsache in die Augen springend, dass es viele Individuen gibt, welche vollkommen immun gegen Eiterungen zu sein scheinen. Es gibt, besonders unter der ländlichen Bevölkerung, Leute, bei denen Verletzungen, die sie sich mit allen möglichen Gegenständen und Instrumenten zugefügt haben, die sie oft nicht einmal mit Wasser auswaschen, die sie in den seltensten Fällen verbinden, und wenn sie dieselben wirklich verbinden mit den allerabsurdesten

Dingen mit Spinnengewebe, Schmeerhaut u. s. w. u. s. w. bedecken, es gibt Leute, bei denen Wunden, die zum Hohne aller Aseptik geradezu mit septischen Gegenständen in Berührung gebracht werden, per primam heilen. Ich glaube, dass jeder Arzt, und insbesondere jeder Arzt auf dem Lande, im stande ist, diese auffällige Tatsache durch mehrfache Erfahrungen zu bestätigen. Und dabei muss gleich gesagt werden, dass jedenfalls die Infektionsgefahr mit Streptokokken auf dem Lande eine überaus grosse ist, denn die Reinlichkeit, die Hygiene der Wohnung besonders bezüglich Beheizung, Lüftung, Beleuchtung, Abortverhältnisse, Anlage der Düngerstätten u. s. w. u. s. w. ist gerade in ländlichen Bezirken dasjenige, was noch am meisten, wenn nicht alles zu wünschen übrig lässt. Nehmen wir nun an, dass es in der Tat Leute gibt, welche immun gegen Eitererreger sind und übertragen wir diese Annahme auf die von mir bisher vertretene Theorie, dass alle Infektionskrankheiten Mischinfektionen mit Eitererreger und spez. Krankheitserreger seien, so müssten auch alle diejenigen Individuen, welche immun sind gegen Eitererreger, immun sein gegen Infektionskrankheiten, denn nur Streptok. p. a. plus spez. Krankheitserreger vermögen eine Infektionskrankheit zu erzeugen. Und da ist nun die weitere Tatsache auffallend, dass, um bei der Wundheilung zu bleiben, tuberkulös veranlagte Individuen gewöhnlich schlecht heilende Wunden aufweisen, dass die unbedeutendste Verletzung bei derartigen Individuen die grössten Eiterungen im Gefolge zu haben pflegt. Es ist weiter die Tatsache zu bemerken, dass bei einer Diphtherie-, bei einer Scharlach-, bei einer Masernepidemie durchaus nicht alle Familienglieder, nicht alle Kinder erkranken, trotzdem sie alle der gleichen Gefahr der Ansteckung ausgesetzt sind, trotzdem auch auf der Mund-, auf der Rachenschleimhaut der gesund Gebliebenen Diphtherie-Baz. u. s. w. nachgewiesen werden können, dass in einer Familie, in welcher Tuberkulose hereditär ist, Eltern, Geschwister an Tuberkulose sterben, dass einzelne Familienglieder jedoch, die Frau, ein oder mehrere Kinder von der Krankheit verschont bleiben, obwohl sie derselben Ansteckungsgefahr ausgesetzt waren, Fälle, die wohl jedem Arzte schon zu Gesicht gekommen sind, dass auch bei Choleraepydemien, bei Typhusepidemien nicht alle Angehörigen einer Familie erkranken, trotzdem auch in den Stühlen der gesund Gebliebenen Cholerabazillen nachzuweisen sind, dass selbst Kinder, welche an der

Mutterbrust oder mit steril. Milch ernährt werden, an Brechdurchfall erkranken, während andere, bei welchen in Bezug auf Ernährung und der hiebei zu beobachtenden Reinlichkeit ungeheuer gesündigt wird, völlig gesund bleiben; dass wir in einer Familie, wenn eine Kinderepidemie ausbricht, immer dieselben Kinder zuerst und am schwersten erkranken sehen, während andere jeweils vollständig gesund bleiben oder kaum über ein Initialstadium hinauskommen, so dass wir von den Eltern selbst wiederholt die Äusserung hören können, „wenn irgend eine Krankheit ausbricht, muss sie das und das Kind sicher immer zuerst haben."

Und gibt es nun in der Tat Individuen, welche gegen Eitererreger immun sind, so müssten wir auch derartige Immune als wirklich Gesunde ansehen, weil sie hiedurch nach den bisherigen Ausführungen gleichzeitig geschützt wären vor Erkrankung von jeweiligen Infektionskrankheiten. Und ferner liesse sich folgern, disponiert für eine gewisse oder für alle Infektionskrankheiten ist nur derjenige, welcher nicht immun gegen den Eitererreger ist und damit wäre bewiesen, dass wir am Ende als persönliche Disposition für das Erkranken an einer Infektionskrankheit nur das Verhalten eines Individuums gegenüber einer Streptokokken-Invasion aufzufassen hätten.

Und gibt es eine Immunität gegen Streptok. p. a., gleichviel worin dieselbe besteht, ob sie angeboren ist oder im ständigen Kampfe mit diesem ausgebreitetsten Feinde der Menschheit, vielleicht durch Überstehen der Kinderkrankheiten, erworben wird, ob sie im Blute oder den Lymphbahnen ihren Sitz hat, so müsste es auch möglich sein, neben der angeborenen oder erworbenen Immunität eine künstliche zu schaffen, das Individuum durch einmaliges oder wiederholtes Impfen gegen Streptokokken zu schützen nicht nur vor akuten oder chronischen Eiterungen, sondern auch vor dem Befallenwerden aller Infektionskrankheiten.

Ich bin mir wohl bewusst, dass ich im Vorstehenden ein Thema behandelt habe, welches vom Theoretiker nie und nimmer gelöst werden kann und dass in demselben soviel Sätze, soviel Hypothesen enthalten sind, dass die Hypothesen nicht einmal ordentlich begründet, viel weniger einigermassen bewiesen sind, indessen glaubte ich diese meine Gedanken nach langem Zögern doch dem Papiere anvertrauen zu sollen, sie haben mich zu

lange beschäftigt, als dass ich sie nicht auch einmal hätte besprechen wollen, und wenn ich auch in allem irrte errando discimus — vielleicht entspringt aus diesem Irrtume in einem anderen Kopfe eine Wahrheit.

Die hygienischen Forderungen an die Milch als Nahrungsmittel für Kinder u. Erwachsene.

Von Dr. **Rössle,** Stadttierarzt in **Ulm.**

Meine Herren!

Im Vordergrund des öffentlichen Interesses steht in den letzten Jahren die Versorgung des Volkes mit guten und richtig beschaffenen Nahrungsmitteln; in allerjüngster Zeit gilt dies speziell bezüglich der Milch; ich erlaube mir deshalb, Ihnen heute Abend eine gedrängte Ausführung über die notwendige Beschaffenheit der Milch in hygienischer Beziehung, so dass sie als Nahrungsmittel für Kinder und Erwachsene dienen kann, vorzutragen; ich habe mir dabei gestattet, spezialistische wissenschaftliche Einzelheiten, besonders die chemische Seite, bloss zu streifen und eine kurze allgemeine Übersicht über die Frage zu geben; dabei bemerke ich, dass unter Milch, wenn ich ausdrücklich nichts anderes hinzusetze, Kuhmilch zu verstehen ist.

Auf dem Gebiete der allgemeinen Medizin macht sich in der letzten Zeit ein Streben geltend, das dahin geht, gegen allenfallsige Krankheiten in der Weise zu wirken, dass die Ursachen für eine solche Krankheit von vornherein beseitigt werden, d. h. man sucht, den Krankheiten vorzubeugen; um dieses Ziel erreichen zu können, dazu gehört in erster Linie, dass der Körper gesund und kräftig erhalten bleibt und dass er aus diesem Grund mit richtig beschaffenen Nahrungsmitteln ernährt wird; denn es ist wohl ohne weiteres klar, dass ein unrichtig ernährter Organismus jeder Zeit allen möglichen Krankheiten Gelegenheit bietet, sich in ihm festzusetzen. — Dass eine richtige Beschaffenheit der Nahrungsmittel des Menschen ein höchst wichtiges Bedürfnis ist und dass sich auf dem Gebiete der Gewinnung

und Herstellung dieser Nahrungsmittel ohne gesetzlichen Zwang für die betr. Produzenten nicht auskommen lässt, hat auch der Gesetzgeber lange eingesehen, — ich erinnere in dieser Hinsicht an das allen bekannte Nahrungsmittelgesetz vom 14. Mai 1879, an dem auf dem Gesamtgebiet der Nahrungsmittelversorgung der betr. Sachverständige und der Richter eine gute Stütze haben; neben diesem Nahrungsmittelgesetz bestanden aber seit alter Zeit noch besondere Bestimmungen über die Beschaffenheit einzelner Nahrungsmittel z. B. Fleisch; in neuerer Zeit, im Jahre 1903, sind speziell diese Bestimmungen einer gründlichen Renovation bezw. einer einheitlichen Gestaltung unterzogen worden, indem ein sog. Fleischbeschaugesetz mit seinen einzelnen Ausführungsbestimmungen etc. giltig für das ganze Reich erlassen wurde; dieses Gesetz trägt in seinen Bestimmungen dafür Sorge, dass der Konsument für sein Geld ein Fleisch bekommt, das 1) bloss von ganz gesunden Tieren kommt, 2) an sich vollwertig ist und 3) beim Verkauf bezw. Einkauf nicht verdorben, unbrauchbar oder gesundheitsschädlich ist. An der Hand dieser Bestimmungen sind die Sachverständigen jederzeit in der Lage, dafür zu sorgen, dass der Konsument ein hygienisch einwandfreies Fleisch bekommt für sein Geld. —

Wie verhält sich nun bis dato die Gesetzgebung bezüglich der Milch? — Wenn man erwägt, dass die Milch unserer Haustiere, insbesondere der Kuh, zu den täglichen Nahrungsmitteln gehört, so muss man sich wundern, dass nicht alle Vorkehrungen getroffen sind, welche das Inverkehrbringen einer guten, d. h. unschädlichen und bekömmlichen Milch gewährleisten. Noch auffälliger wird der Mangel einer allgemeinen Regelung dieser Angelegenheit, wenn man bedenkt, dass die Kuhmilch dazu bestimmt ist, in stetig zunehmendem Umfange als die ausschliessliche Nahrung des neugeborenen, für Schädlichkeiten besonders empfänglichen Kindes zu dienen, dass die Kuh immer mehr und mehr die Rolle übernimmt, die Amme des Säuglings zu sein. — Wenn irgendwo z. Zt. eine sanitätspolizeiliche Regelung des Milchverkehrs versucht wird, so sind diese Versuche unter spezieller Berücksichtigung der von mir im Nachfolgenden anzuführenden Momente bis jetzt meist bloss in grösseren Gemeinden gemacht worden; dies bezieht sich aber auf die Beschaffenheit sämtlicher Milch, nicht bloss der Kindermilch; ich kann Ihnen am Schlusse meiner Ausführungen solche polizeiliche Ver-

ordnungen betreffs Milchverkehrs z. B. von Hamburg vorführen, die sehr mustergiltig ist; auch in Stuttgart sind seit ca. 2 Jahren solche, allerdings nicht so weitgehende Bestimmungen erlassen worden. — In den meisten Gemeinden finden wir übrigens schon seit langer Zeit Bestimmungen der Ortspolizeibehörden betreffs Milchverkehrs; diese lassen aber meistens die gesundheitliche Seite des Milchverkehrs ganz ausser acht und beschränken sich darauf, das Inverkehrbringen fettarmer und gewässerter Milch zu verhindern. Durch Erwerb derartiger minderwertiger und gefälschter Milch wird aber der Abnehmer meist bloss finanziell geschädigt; diese Schädigung tritt aber zurück gegenüber den gesundheitlichen Nachteilen, welche eine im übrigen unkontrollierte Milch haben kann. — Hier in Ulm haben wir ähnliche Verhältnisse, wie eben berichtet; soweit mir bekannt ist, besteht eine derartige ortspolizeiliche Vorschrift betr. Verkehr mit Milch vom 22. Septbr. 1904; wenn sich die hiesige Vorschrift ja im allgemeinen auch speziell gegen die Fälschungen der Produzenten oder Händler wendet, so ist dankenswert anzuerkennen, dass darin bereits eine erhebliche Berücksichtigung die gesundheitliche Seite des Milchverkehrs gefunden hat; so ist darin z. B. bestimmt, dass angeordnet werden kann, dass aus Häusern, in welchen Cholera-, Pocken-, Typhus-, Fleckfieber-, Scharlach- oder Diphtheritis-Erkrankte sich befinden, während der Dauer der Krankheit keine Milch in den Handel gebracht werden darf. Des weiteren sind genauere Bestimmungen in dieser Vorschrift enthalten über die Aufbewahrung der Milch bei Milchverkäufern, über die Einrichtung der Verkaufsläden, über die Transportgefässe u. s. w. — Wenn wir demnach sehen, dass in einzelnen Gemeinden bereits eine Regelung des Milchverkehrs besteht unter Berücksichtigung der hygienischen Seite derselben, so ist leider zu konstatieren, dass dies meist noch nicht in genügendem Masse der Fall ist und dass von anderer Seite, von seiten der Landes- oder Reichsbehörden bis jetzt dieser Frage zur einheitlichen Regelung derselben noch nicht näher getreten worden ist. —

Der Konsument ist der Meinung, dass eine Milch gut sei, wenn sie eine weisse Farbe besitzt, süss schmeckt und beim Kochen nicht gerinnt; diese Merkmale sind aber trügerisch. Die Milch kann alle die genannten Merkmale haben und trotzdem schädlich sein. Was insbesondere die Farbe der Milch an-

langt, so sagte Schmidt-Mühlheim, einer der ersten Vorkämpfer auf dem Gebiete der Milchhygiene: der weisse Mantel der Unschuld, welchen die Milch äusserlich zur Schau trägt, und der den Dichter dazu begeistert hat, die Milch als Sinnbild der frommen Denkungsart hinzustellen, ist nicht selten eitel Trug und Schein. Die Milch kann trotz weisser Farbe schädliche Bakterien und ungeformte Gifte enthalten. Dem Konsumenten fallen an der zu Markt gebrachten Milch nur die Milchfehler auf, die sich durch eine Veränderung der Farbe der Milch äussern; diese machen aber gerade die Milch nicht schädlich, sondern sind in hygienischer Hinsicht harmloser Natur.

Verfolgen wir einmal die Milch von ihrer Entstehung an bis zu dem Augenblicke, in welchem sie in die Hände der Konsumenten gelangt, so ergeben sich folgende Möglichkeiten einer nachteiligen Beeinflussung ihrer Beschaffenheit: Erstens kann die Milch von kranken Tieren, also zunächst von kranken Kühen stammen; die Zahl der Krankheiten, die durch Milchgenuss auf den Menschen vom Rind übertragen werden können, ist zwar nicht gross, immerhin rechtfertigt aber die Möglichkeit ihrer Übertragung ihre Berücksichtigung bei der Regelung des Milchverkehrs; es sind die Maul- und Klauenseuche (Aphthenseuche), der Milzbrand, die septischen Erkrankungen der Milchkühe, bestimmte Formen der Euterentzündungen und die Tuberkulose. — Dass die Aphthenseuche auf den Menschen durch Milchgenuss übertragen werden kann, ist bekannt. Den ersten experimentellen Nachweis hiefür hat Hertwig durch Versuche an sich selbst erbracht. — Die Jahresberichte über die Verbreitung der Tierseuche im deutschen Reiche enthalten regelmässige Mitteilungen über spontane Übertragungen. — Gewöhnlich handelt es sich um Einzelfälle, die gutartig verlaufen. In der Schweiz sind aber schon förmliche Epidemieen von Maulseuche, d. h. von Aphthenerkrankung bei Kindern beobachtet worden, und auch bei uns sind gelegentlich gehäufte Fälle aufgetreten, wie eine Bekanntmachung des Kgl. Landrats zu Aurich aus dem Jahre 1896 beweist, die Aphthenseuche kann aber auch einen bösartigen Verlauf nehmen und bei Kindern selbst den Tod bedingen. Im übrigen ist anzuführen, dass hier nur rohe Milch schädlich wirken kann; gekochte nicht; deshalb ist auch nach dem Reichs-Viehseuchengesetz die Weggabe roher Milch von Kühen, die an Maul- und Klauenseuche erkrankt sind, behufs unmittelbarer

Verwendung zum Genusse für Menschen verboten. Wir haben also schon eine staatlich geordnete Prophylaxe gegen die Übertragung der Aphthenseuche durch Milchgenuss auf den Menschen.

Beim Milzbrand finden sich nach Untersuchungen von Ostertag die Milzbrandbazillen in der Regel nicht in der Milch; sie treten nur dann in die Milch über, wenn im Verlaufe der Erkrankung Blutungen im Euter entstehen. Der Verkauf der Milch milzbrandkranker oder verdächtiger Tiere ist aber mit Recht nach § 8 der genannten Instruktion grundsätzlich verboten, da im Einzelfalle in der Praxis nicht festgestellt werden kann, ob die Milch bazillenhaltig ist oder nicht. Also ist auch hier durch eine staatliche Massregel für eine Verhütung der Milzbrandübertragung auf den Menschen durch die Milch Sorge getragen. Bei der Durchführung dieser Massregel kommt unterstützend in Betracht, dass beim Milzbrand das Versiegen der Milch zu den ersten Merkmalen der Krankheit gehört.

Die Erreger der septischen Erkrankungen der Milchkühe können auf zwei Wegen in die Milch kommen. Basenau hat nachgewiesen, dass der Bazillus bovis morbificans — einer jener Sepsiserreger, welche durch die Fleischvergiftungen, Massenerkrankungen nach Genuss des Fleisches septisch erkrankter Rinder bekannt geworden sind — aus dem Euter mit der Milch ausgeschieden wird. Ausserdem können die Sepsiserreger bei Lokalisation der Erkrankungen im Darme und in der Gebärmutter in die Milch kommen, wenn die Milch nicht mit der erforderlichen Sauberkeit gewonnen wird. Bei septischen Darm- und Gebärmuttererkrankungen gelangen die Krankheitserreger mit den krankhaften Ausscheidungen aus den erkrankten Organen auch ins Euter und mit dem Euter in die Milch. Um ein Beispiel hiefür anzuführen, erwähne ich einen von Gaffky und Jollenius beobachteten Fall: im Oktober 1891 erkrankten zwei Assistenten und ein Diener des hygienischen Instituts in Giessen unter auffälligen Symptomen, der Diener unter dem Bilde der Cholera nostras, die beiden Assistenten lebensgefährlich unter Erscheinungen, welche dem Typhus ähnelten. Nach dem Ergebnis der angestellten Untersuchungen muss angenommen werden, dass die Erkrankungen durch die Milch einer Kuh bedingt wurden, welche an blutigem Durchfalle litt. Die Milch von septisch erkrankten Tieren muss deshalb unbedingt aus dem

Verkehr ausgeschlossen werden, da ein Teil der Sepsiserreger Gifte bildet, die durch Kochen nicht zerstört werden.

Dass die Milch bei Euterentzündungen schädlich wirken kann, ist durch Experiment und vielfache Beobachtungen nachgewiesen. Guilleteau in Bern erzeugte durch Verfütterung des Sekrets aus entzündeten Eutern bei jungen Katzen Verdauungsstörungen. Lameris und van Harrevelt beobachteten eine Massendiarrhoë bei den Insassen eines Krankenhauses nach Genuss der Milch von Kühen, von denen einige an Euterentzündung erkrankt waren. Durch Kochen wurde die Giftigkeit der Milch nicht zerstört; die Erreger der Mestitis waren Streptokokken. Edwards und Severn berichteten über eine Epidemie von Jollikulärer Mandelentzündung nach Genuss von Milch, welche Staphylokokken und Streptokokken enthielt. Die Bakterien waren der Gesamtmilch durch die Milch der Kuh eines Lieferanten beigemengt worden; da die Milch ein ausgezeichneter Nährboden für viele Bakterien ist überrascht es nicht, dass die bakterienhaltige Milch einer Kuh das Gemelke von zahlreichen anderen Kühen infektiös machen kann. Die Litteratur verzeichnet noch weitere Fälle von kleineren und grösseren Massenerkrankungen nach Genuss der Milch von Kühen, welche an Euterentzündung litten. Die Erkrankungen äusserten sich gewöhnlich durch Durchfall und sistierten, wenn die Milch als Nahrungsmittel weggelassen wurde. Dass die Milch bei bestimmten Formen der Euterentzündungen schädlich wirken kann, war schon deshalb anzunehmen, weil bekannt ist, dass vom Euter aus sich Blutvergiftungen entwickeln können, welche das Fleisch schädlich machen. Bei den Fleischvergiftungen von Cotta und Wurzen waren die Erreger, welche das Fleisch giftig machten, vom entzündeten Euter in die Blutbahn eingedrungen. — Die Milch von Kühen, welche an Euterentzündungen leiden, wird, wie z. B. die Beobachtung von Lameris und van Harrevelt lehrt, durch Kochen nicht immer unschädlich gemacht. Aus diesem Grunde muss die Milch aus entzündeten Eutern stets als unbedingt zum menschlichen Genusse untauglich angesehen werden. — Beiläufig sei bemerkt, dass es weit über das Ziel hinausschiessen würde, aus dem Befund von Streptokokken und Staphylokokken in der Milch auf eine Schädlichkeit derselben schliessen zu wollen, wie das schon bei einseitiger Würdigung bakteriologischer Befunde geschah.

Die Willkürlichkeit dieses Beschlusses ergibt sich schon daraus, dass die Milch ganz gesunder Frauen nach den Untersuchungen von Lehmann, Palleske, Cohn, Neumann und Kinzl nahezu immer Staphylokokken und zuweilen auch Streptokokken enthält; auch in der Kuhmilch lassen sich sehr häufig Staphylokokken nachweisen, ohne dass sie im geringsten schädlich ist; schädlich sind nur jene Kokken, welche aus entzündeten Eutern stammen. Dieser eine Fall beweist, dass die einfache bakteriologische Prüfung der Milch ohne tierärztliche Untersuchung der milchliefernden Tiere zu grossen Fehlern und zu gänzlich unbegründeten Massnahmen im Milchverkehr führen kann und muss. —

Die Frage der Übertragbarkeit der Tuberkulose vom Rind auf den Menschen durch den Genuss von Milch hat ja eine eigene, umfangreiche Litteratur gezeitigt, auf welche im Rahmen der heutigen Ausführungen nicht eingegangen werden kann. Allgemein bekannt ist, dass der Vater der Bakteriologie, Robert Koch, im Jahre 1902 die Übertragbarkeit in Zweifel gezogen hat, nachdem 20 Jahre vorher auf Grund seiner Feststellungen die Übertragbarkeit als erwiesen angenommen worden war. Koch verlangte 1902 als Beweis der Übertragungsmöglichkeit Fälle von Menschentuberkulose, welche auf das Rind zurückübertragen werden konnten; diese Fälle sind durch zahlreiche Untersuchungen in den darauffolgenden Jahren beigebracht worden, speziell führe ich hier an Jenssen und Fiebiger; letzterer sah seit einem Jahre bei seinem nicht überwältigend grossen Sektionsmaterial neun Fälle von primärer Darmtuberkulose bei Kindern, die ohne Ausnahme auf das Rind zurückübertragen werden konnten.

Exc. v. Behring sprach bekanntlich in Kassel auf der Naturforscherversammlung 1903 auch über die Frage; seine Ausführungen gipfelten in dem Satze: die Säuglingsmilch sei die Hauptquelle für die Entstehung der Tuberkulose, da er triftige Gründe habe, in der Annahme, dass bei der Entstehung der menschlichen Tuberkulose das vom Rinde stammende Tuberkulosevirus eine wichtige Rolle spiele. — In den letzten Jahren konnten in der Litteratur bezüglich dieser Frage verschiedene Ansichten pro und contra festgestellt werden, es geht daraus aber immerhin mit Sicherheit das hervor, dass eine grosse Anzahl von Fällen von Übertragung der Tuberkulose des Rin-

des auf den Menschen durch Milchgenuss vom Rinde in durchaus einwandfreier Natur vorliegen; mag nun der Krankheitserreger der gleiche sein, oder eine Varität des Tuberkelbazillus d. h. ein typus humanus und bovinus vorliegen oder nicht. — Wenn somit die Tatsache der Möglichkeit der Übertragung der Tuberkulose des Rinds auf den Menschen durch Milchgenuss feststeht, so fragt es sich nun, ob die Milch unter allen Umständen oder nur bei gewissen Formen der Tuberkulose schädlich zu werden vermag. — Auch diese Frage hat ihre Geschichte. Es mag daran erinnert werden, dass früher allen Ernstes verlangt wurde, die Milch sämtlicher Kühe, welche auf Tuberkulin reagierten, von der Verwertung als menschliches Nahrungsmittel auszuschliessen, oder sie hiezu nur nach vorgängiger Kochung zuzulassen. — (Bezüglich der Impfung mit Tuberkulin soll hier erläuternd bemerkt werden, dass bekanntlich zur Feststellung von Tuberkulose bei Rindern diesen $^1/_2$ ccm einer $^1/_2$ %igen Karbollösung von Tuberkulinum Kochii unter die Haut eingespritzt wird: wenn nun nach 12—15 Stdn. bei den Tieren nach der Einspritzung eine Erhöhung der Temperatur um mindestens 1° C. auftritt, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass die Tiere tuberkulös sind; hier bietet sich wohl auch Gelegenheit, einen Fehler des Artikelschreibers über die Säuglingsmilchküche hier, der im vorigen Sommer im Ulmer Tagblatt erschienen ist, richtig zu stellen und zwar, dass das Tuberkulinum Kochii, das da eingespritzt wird, kein Tuberkelserum ist, wie dort gesagt wird, sondern dass es eingedampfte und filtrierte Bazillenkulturen von Tuberkelbazillen) sind. — Wenn wir nun alle Tiere, die bei Einspritzung mit Tuberkulin reagieren und damit als wahrscheinlich tuberkulös erscheinen, von der Milchgewinnung ausschliessen müssten, so kann ich Ihnen aus meiner hiesigen Privatpraxis Fälle anführen, wo dies bei zirka 80—85% sämtlicher Tiere, die in dem Bestand aufgestellt sind, notwendig wäre, da ein so hoher Prozentsatz von Tieren reagierte. Glücklicherweise ist es aber nicht nötig, Tiere auf Grund einer Tuberkulinreaktion allein schon von der Milchproduktion auszuschliessen, denn diesbezügliche wissenschaftliche und praktische Versuche haben bewiesen, dass lediglich auf Tuberkulin reagierende Kühe noch lange nicht auch tuberkelbazillenhaltige Milch ausscheiden, sondern dass dies nur bei tuberkulöser Erkrankung des Euters oder offensichtlicher tuber-

kulöser Allgemeinerkrankung der Fall ist. — Die praktische Milchhygiene weiss deshalb, dass nur die mit diesen Formen der Tuberkulose behafteten Tiere von der Milchgewinnung auszuschliessen sind, die übrigen dagegen nicht. — Damit wären die Fälle der Übertragungsmöglichkeit von Tierkrankheiten durch Milchgenuss auf den Menschen abgehandelt und ich komme nun zu einem weiteren Fall der nachteiligen Beeinflussung der Milch und zwar durch Behandlung der milchgebenden Tiere mit bestimmten Arzneistoffen. — Fröhner hat in seiner klassischen Arbeit über die Bedeutung der Milchmittel die Tatsache über die Ausscheidung von Medikamenten durch die Milch zusammengestellt: hiernach machen sich Kampfer, Terpentinöl und Kamillen in der Milch bemerkbar, Wachholderbeeren, Anis und Fenchel dagegen nicht. Nach der Verabreichung auch von Aloë, nicht aber von Enzian, Absinth und andern Bittermitteln erhält die Milch einen bitteren Geschmack. Milch von Kühen, welche Aloë erhalten haben, wirkte auch bei Kindern schädlich, ferner ist der Übergang von Arsen in die Milch, wie von Blei und zwar zum Teil in giftigen Mengen durch mehrfache Beobachtungen sichergestellt; dasselbe gilt vom Brechweinstein, Jod, Zink, Wismut, von der Borsäure, vom Antimon und Quecksilber; weiter muss angenommen werden, dass das Veratrin in die Milch übergeht; es gelang aber nicht, Morphium in der Milch wiederzufinden; die Angabe, dass die Milch einer Amme, die in einen hohlen Zahn einen Tropfen Opiumtinktur gebracht hatte, Morphiumwirkungen gehabt habe, muss in das Reich der Fabel verwiesen werden. Dagegen konnte Fröhner nach grossen Gaben von Kreolin einen brenzlichen, an Kreolin erinnernden Geschmack in der Milch nachweisen. Ferner ist neuerdings durch Waller und Teichert der Übergang von Alkohol in die Milch nach übermässiger Verfütterung alkoholreicher, stark gesäuerter Schlempe festgestellt worden.

Milch von medikamentös behandelten Tieren darf daher nicht in den Verkehr gegeben werden, wenn es sich um Medikamente handelt, welche in die Milch übergehen und giftig wirken. Milch von Kühen, welche infolge medikamentöser Behandlung einen abnormen Geruch oder Geschmack erhält, ist minderwertig; die Tierärzte vermeiden deshalb nach Möglichkeit bei der Behandlung von Milchtieren die Verwendung von Stoffen, welche in die Milch übergehen können und machen den

Besitzer, wenn andere Arzneistoffe angewandt werden müssen, darauf aufmerksam, dass die Milch nicht oder nicht ohne weiteres verkauft werden darf. Die Milch von Kühen, welche ohne tierärztliche Kontrolle medikamentös behandelt würden, ist grundsätzlich vom Verkehr auszuschliessen.

Eine weitere Beeinflussung wichtiger Art kann bezüglich der Milch herbeigeführt werden durch zweckwidrige Fütterung. Es liegen sichere Beobachtungen vor über die Schädlichkeit der Milch nach der Verfütterung von Artischoken (Übergang des giftigen Alkaloids Ginurin in die Milch), nach der Verfütterung von Rizinuskuchen, nach der Verfütterung von fauligen Rübenblättern, nach der Verfütterung von stark befallenem Klee. Alt hat in einer Landesirren- und Pflegeanstalt Erkrankungen bei 50 Personen bemerkt, die sofort schwanden, als die betr. Milch weggelassen wurde, und wiederkehrten, als die Milch wieder verabreicht wurde. Die Artischokenfütterung spielt bei uns höchstens in Gärtnereien eine Rolle. Die Verordnung von Rizinuskuchen, die das giftige Rizin enthalten und dadurch auch den milchgebenden Tieren selbst gefährlich werden, ist zu verbieten, gleichwie die Verabreichung von fauligen Rübenblättern und stark befallenem Klee. — Die Frage der Schädlichkeit anderer früher verdächtiger Futtermittel ist durch experimentelle Untersuchungen zu prüfen; denn vieles, was in der Litteratur hierüber angegeben ist, hält der Kritik nicht stand. Es ist insbesondere festzustellen, wie sich die Milch von Kühen verhält, welche giftige Pflanzen, wie Colchicum und Ranunkeln, in ihrem Futter erhalten; es gehen ja, wie bereits oben bemerkt, nicht alle Giftstoffe, insbesondere nicht alle Alkaloide, in die Milch über. — Bei den giftigen Futterkräutern ist ferner zu beachten, dass dieselben von den Kühen nicht aufgenommen, sondern ausgelesen werden. — Wie vorsichtig man in der Beurteilung der Einwirkung bestimmter Futtermittel auf die Milch sein muss, lehrt eine Feststellung von Zammit: Auf Malta kommen ziemlich häufig nach Milchgenuss Magendarmkatarrhe vor, die z. T. tötlich verlaufen; früher wurden die Erkrankungen giftigem Futter der dortigen Milchziegen zugeschrieben, es wurde aber festgestellt, dass die Erkrankungen durch Ausspülen der Milchkannen mit schmutzigem Wasser bedingt wurden. Das Wasser enthielt den Bazillus enteritidis sporogenes. — Früher hat man ferner infolge einer irrigen Deutung einer an sich richtigen Tat-

sache die Melasse für ein sehr giftiges Beifutter für Rinder gehalten und zwar wegen ihres hohen Gehalts an Kaliumsalzen; durch Fütterungsversuche ist aber nachgewiesen worden, dass man verhältnismässig grosse Mengen von grüner Melasse an Kühe verabreichen kann, ohne dass eine Schädlichkeit der Milch beobachtet wird. — Auch die Schlempe ist früher nicht ganz richtig beurteilt worden. Ohlsen untersuchte auf Veranlassung von Uffelmann Schlempenmilch und kam zu dem Ergebnis, dass kein Anhalt für die Erzeugung von Verdauungsstörungen oder Rhachitis durch Schlempenmilch vorliege. — Die Unzulässigkeit bestimmter Futtermittel zur Ernährung der Milchtiere darf nur ausgesprochen werden, wenn ihre Schädlichkeit zuverlässig dargetan ist. Ohne Not wichtige Futtermittel von der Verwendung in Kuhställen auszuschliessen, hiesse die Landwirtschaft in ihrem wichtigsten Erwerbszweig stören. — Nur in Anstalten, in welchen Vorzugsmilch (Kinder- und Kurmilch) gewonnen wird, kann die Fütterung mit einer beschränkten Zahl von Futtermitteln vorgeschrieben werden, da der höhere Preis der Vorzugsmilch den Produzenten in den Stand setzt, selbst übertrieben strenge Futtervorschriften mühelos zu erfüllen. Bei dieser Gelegenheit ist es auch am Platze darauf hinzuweisen, dass man auch bei Produktion von Vorzugsmilch davon abgekommen ist, nunmehr bloss noch wie seither reine Trockenfütterung zu verlangen; denn dadurch wird die Milch nicht besser; solche Fütterung ist geradezu naturwidrig und führt dazu, dass die Stallluft und dadurch auch die Milch durch die Sporen des sog. Heubazillus verunreinigt wird, dessen schädliche Wirkung auf die Milch selbst durch starkes Erhitzen derselben nicht leicht aufgehoben werden kann. — Abgesehen von dem alleinigen Vorzug der das ganze Jahr über gleichbleibenden Zusammensetzung der Trockenfütterung kommen ihr gegenüber der Grünfuttermilch keine Vorzüge zu, es ist deshalb mit Freuden zu begrüssen, dass nun bereits unter den Sachverständigen der Milchwirtschaft sich die Ansicht durchgerungen hat, dass die Grünfütterung als natürliche Fütterung in der Zeit, wo es Grünfutter gibt, auch bei Tieren, die der Produktion von Vorzugsmilch dienen, zuzulassen ist; denn Milch, die von solchen Tieren gewonnen ist, ist die wohlschmeckendste und sauberste; selbstverständlich ist dabei Voraussetzung, dass das Grünfutter nicht verdorben sein darf z. B. durch Erhitzung desselben bei länge-

rem Aufbewahren u. s. w. Daneben sind noch Futtermittel gestattet wie trockene Biertreber, Ölkuchen etc., auszuschliessen sind aber bei Produktion von Vorzugsmilch: feuchte Biertreber, feuchte Schlempe, Schnitzel, Melasse, Rübenblätter, weisse Rüben, Steckrüben, Kohlrüben, eingesäuertes Futter, Fischmehl, Blutmehle, Reisfuttermehle, rohe Kartoffeln, Schrot von Bohnen, Wicken und Lupinen, sowie deren Stroh, verschimmelte, ranzige faulige, sauer gewordene oder sonst verdorbene Futtermittel jeder Art. —

Wenn nun die Milch auch von ganz gesunden Tieren stammt, die richtig gefüttert werden, so kann sie trotzdem noch nach dem Verlassen des Euters nachteilig beeinflusst werden: 1) durch Halten und Melken der Tiere in niederen, dumpfen, schmutzigen Stallungen, 2) durch schmutziges Melken, 3) durch unreinliches Halten der Tiere selbst, 4) durch unzweckmässige Behandlung der Milch nach dem Melken und 5) durch nachträgliche zufällige Infektion mit den Erregern menschlicher Infektionskrankheiten.

Dass in hygienisch unrichtig eingerichteten Ställen, die z. B. nieder, schmutzig und dumpf sind, keinen genügenden Abfluss der Jauche haben, die Jauchegruben im Stalle haben, wo zudem die Tiere noch schlecht gepflegt werden, die Krippen nicht immer sauber gereinigt werden u. s. w. u. s. w., auch die Milch nicht günstig beeinflusst werden wird, ist wohl jedermann ohne weiteres klar, besonders wenn man bedenkt, dass die Milch den schlechten Geruch, der in solchen Stallräumen naturgemäss herrschen muss, sehr leicht aufnimmt. Das gleiche gilt von unreinlichem Ausführen des Melkens, wodurch der Milch, dem Sekret der tierischen Milchdrüse, mehr oder weniger Schmutz beigemengt wird; es soll aber natürlich die Milch vom hygienischen Standpunkt aus keinerlei Schmutz enthalten. Zur Feststellung des Milchschmutzes bedient man sich verschiedener Apparate: eine einfache, allerdings primitive Art besteht darin, dass man die zu untersuchende Milch in eine Literflasche aus hellem Glase giesst; nach dreistündigem Stehen darf sich hier kein Bodensatz zeigen. Der Milchschmutz besteht nach vorgenommenen mikroskopischen Untersuchungen aus Kuhkot, Kuhhaaren, Staubteilen und Epidermiszellen. — In verschiedenen Städten wird z. Zt. oder wird vielmehr schon lange die sog. Schmutzprobe mit der

Milch gemacht, dabei zeigt sich oft in überraschender Weise bei einer an sich klaren und schönen Milch, dass eine Menge Schmutz darin ist; so entnehme ich z. B. dem neuesten Bericht des städt. chemischen Untersuchungsamtes hier vom Jahre 1907, dass mit ganz neuen Apparaten dort bei 100 Marktmilchen festgestellt wurde, dass nicht eine einzige als ganz rein zu bezeichnen war, dass in 28% der Schmutz deutlich nachzuweisen war, dass 58% wirklich schmutzig waren und 8% sehr schmutzig waren. Es ist eine solche Beimengung der Milch natürlich nicht nur höchst unappetitlich, sondern auch in hygienischer Hinsicht noch sehr bedenklich, denn wenn Teile der tierischen Exkremente in die Milch gelangen, können auch Krankheitserreger in die Milch kommen und andere Bakterien, welche im Darm des Rindes harmlos, für den Menschen aber nachteilig sind. So geht z. B. aus den Untersuchungen von Jenssen, Alba, Uhl u. a. hervor, dass in der Kuhmilch sehr häufig oder fast immer der Kolonbazillus vorhanden ist; ausserdem ist die schmutzige Milch auch die Ursache der starken Bakterienvegetation, welche in der Marktmilch angetroffen wird; es werden eben dadurch die Haltbarkeit der Milch und der Gebrauchswert derselben stark verringert; vor allem aber muss die starke bakterielle Zersetzung der Milch als die Ursache der allsommerlichen Brechdurchfälle angesehen werden, welchen jährlich Tausende von künstlich ernährten Kindern erliegen. Die Nachteile der schmutzig gewonnenen Milch können auch durch nachträgliches Sterilisieren nicht beseitigt werden, weil die in Betracht zu ziehenden Bakterien Gifte bilden, die durch Hitze nicht zerstört werden.

Es muss also die Milch sauber gewonnen werden; es sind in dieser Hinsicht Bestimmungen zu erlassen, wie der Melkakt auszuführen ist; dass eine absolut saubere Milch gewonnen wird, ist natürlich beinahe ein Ding der Unmöglichkeit, denn dazu wäre es ja nach allg. mediz. Grundsätzen nötig, das Euter, wie die Hände des Arztes vor der Operation, vorher zu sterilisieren; dass dies natürlich nicht gemacht werden kann, liegt auf der Hand; es ist z. B. an sich schon undurchführbar, die Euter der Milchtiere vor dem Melken auch nur einigermassen gründlich zu reinigen, dazu würde man mindestens zwei Eimer warmes Wasser, drei bis vier frische Handtücher u. s. w. und 5—10 Minuten Zeit pro Tier brauchen, ausserdem kommt

noch hinzu, dass ein einsichtiger Landwirt eine solche Prozedur an seinen Kühen schon deswegen nicht durchführen lässt, weil durch Abwaschen der Euter häufig Euterentzündungen entstehen. Unbedingt nötig ist also zur Erzielung eines möglichst sauberen Melkens das Reinigen des Euters, denn die leichte Möglichkeit einer Verunreinigung des Euters im Stall ist eben darin gegeben, dass das Euter eine sehr ungünstige Lage am Tierkörper hat in der Nähe derjenigen Körperstelle, wo die Exkremente abgeschieden werden. — Ein Reinigen des Euters, das sich allgemein in praxi von den Landwirten durchführen lässt, besteht darin, das Euter vor dem Melken trocken zu reinigen, abzureiben und dann mit einem reinen, eingefetteten Tuche nachzureiben, durch letzteres werden die Schmutzteile am Euter fixiert und am Herabfallen in die Milch verhindert. Während nun die Euterreinigung trocken zu erfolgen hat, muss der Schwanz des Tieres abgewaschen und gut abgetrocknet werden. — In einzelnen hervorragenden Milchwirtschaften besteht in der Hinsicht noch eine besondere Einrichtung für das Melken: es werden nämlich dort die Milchtiere jedes davon zum Melken in eine extra eingerichtete Milchkammer (die vollständig den Regeln der Asepsis entsprechend eingerichtet ist mit undurchlässigem Boden und weissen Plättchen an den Wänden) geführt und dort von tadellos sauberem Melkpersonal gemolken bezw. es wird die Milch mittelst maschineller Einrichtungen mittelst eines Melkapparats gewonnen; solche Betriebe rentieren sich natürlich für einen Unternehmer nicht, sondern sind bloss möglich für einen staatlich unterstützten oder kommunalen Betrieb, es ist aber anzuerkennen, dass sie dem angestrebten, idealen Zustand auf diesem Gebiet sehr nahe kommen. Bezüglich eines Melkapparats zur Durchführung des Melkens ist anzuführen, dass diese Methode, so rationell sie im Interesse der Saubergewinnung der Milch wäre — noch nicht als besonders brauchbare und empfehlenswerte Methode anerkannt ist, da eine Einbusse am Milchquantum gegenüber dem Melken von Hand sich dabei zeigt; die Tiere können mit der Hand besser ausgemolken werden, was in finanzieller Hinsicht natürlich von grossem Vorteil ist, ausserdem entstehen bei fortgesetztem nicht vollständigem Ausmelken sehr gerne Eutererkrankungen bei den Kühen.

Die Sauberkeit des Melkens wird fernerhin wesentlich gefördert durch möglichste Reinheit der Hände des Schweizers

bezw. der Kleider desselben: es empfiehlt sich aus diesem Grunde, dass die Melkenden sich vorher Hände und Arme mit Seifenwasser reinigen und reine, möglichst helle Überkleider oder Schürzen tragen, das weibliche Geschlecht noch dazu ein Kopftuch; des weiteren ist notwendig, dass beim Melken die erste Milch aus jedem Strich in ein besonderes Gefäss gemolken wird, da die Milch, die in einer Zitzenmündung bis zum Melken gesteckt ist, stets unrein ist und Bakterien enthält; erst nach einigen Strichen an der betr. Zitze darf die Milch in das richtige Melkgefäss gemolken werden. — Dass die Milch nur in tadellos gereinigten Melkgefässen aufgefangen werden soll, ist wohl ohne weiteres klar; desgl. soll die Milch sofort nach dem Melken womöglich durch ein Wattefilter geseiht werden, um sie von dem Schmutz zu befreien, darnach ist es aber unbedingt nötig, die Milch mittelst eines der für diese Zwecke reichlich von der Industrie angefertigten Kühlapparate zu kühlen, um dadurch eine zu üppige Vegetation der in der Milch vorhandenen Bakterien hintanzuhalten; diese Kühlung ist so wichtig bezw. noch wichtiger als die Sterilisation, da sie imstande ist, das Wuchern der Bakterien energisch hintanzuhalten. Solche Milch muss nun ferner bis zur Ablieferung an den Konsumenten oder sonstigen Verarbeitung möglichst in kühlen luftigen Räumen aufbewahrt werden und der Transport hat in Gefässen zu erfolgen, aus welchen die Milch schädliche Bestandteile nicht aufzunehmen vermag. —

Am Schluss darf nicht vergessen werden anzuführen, dass die Erreger mancher menschlicher Infektionskrankheiten, wie zahlreiche Milchepidemien zeigen, durch den Milchverkehr verschleppt werden; erwiesen ist eine solche Verschleppungsmöglichkeit für Typhus, Cholera, Scharlach und Diphtherie. Die Erreger dieser Krankheiten können in die Milch gelangen durch Einstreuen von Stroh aus Krankenbetten in die Ställe und durch Verwendung infizierter und noch nicht völlig genesener Personen als Melker. — Hier hat die Med. Behörde durch entsprechende Massnahmen einzugreifen; ebenso wie bei der Verhütung von Milchinfektionen, welche durch Verwendung von suspektem Wasser zum Spülen von Milchgefässen bedingt werden können.

Aus dem bis jetzt vorgetragenen ergibt sich, dass im Interesse der hygienischen Forderungen d. h. zur Gewinnung einer

unschädlichen und im übrigen tadelfreien Milch in erster Linie erforderlich sind:

1) Untersuchung der Milchkühe auf ihren Gesundheitszustand,
2) Überwachung der Fütterung und Haltung der Kühe,
3) Kontrolle der Gewinnung und Pflege der Milch bis zum Verbrauch.

Dass diese Forderungen, die unbedingt nötig sind, nicht ohne gesetzlichen Zwang durchführbar sind, ist einleuchtend; vom Standpunkte der Hygiene aus muss es aber als wünschenswert bezeichnet werden, dass auch diese Seite bei einer allgemein giltigen Regelung des Milchverkehrs ihre gebührende Berücksichtigung findet; wenn seither der Chemiker allein auf dem Gebiete der Milchwirtschaft für den Gesetzgeber ein Sachverständiger war, so ist wohl auf Grund meiner Ausführungen ohne weiteres ersichtlich, dass nach diesen Gesichtspunkten noch mehr Sachverständige bei einer gesetzlichen Regelung nötig sein werden, und das sind Ärzte, Landwirte und Tierärzte. — Es muss dabei, um natürlich etwas zu erreichen, das Mindestmass der vorgetragenen Forderungen verlangt werden, denn unnatürliche Forderungen (wie man solche manchmal in Reklamen für den Betrieb von Säuglingsmilchküchen liest), erschweren die Einführung des Ganzen; um etwas Brauchbares zu erreichen würde es sich daher empfehlen, eine Kommission, bestehend aus Milchproduzenten, Leitern milchwirtschaftlicher Institute, Ärzten, Chemikern und Tierärzten damit zu betrauen, die Forderungen zu begründen und der gesetzgebenden Körperschaft des Reichs zur definitiven Regelung auf dem Wege der Reichsgesetzgebung vorzuschlagen: eine solche Kommission, die also den Milchverkehr im allgemeinen und die Gewinnung der Vorzugsmilch im besonderen zu regeln hätte für das ganze Reich, könnte als Milchkommission in ähnlicher Zusammensetzung an jedem grösseren Platze oder Gemeinde ebenfalls eingerichtet werden, um dort nach Lage der örtl. Verhältnisse tätig zu sein und die Verhältnisse auf milchwirtschaftlichem Gebiete zu regeln; auf diese Weise wäre auch das Vertrauen der milchproduzierenden landwirtschaftlichen Kreise leicht zu gewinnen, ohne deren friedliche Mitarbeit natürlich nichts sich erreichen lässt; denn eine strenge jederzeitige polizeiliche Kontrolle eines jeden Kuhstalls kann man praktisch nicht durchführen.

Es erübrigt mir noch mit einigen Worten auf die Frage der Kinder- oder Säuglingsmilch einzugehen, nachdem ich im vorhergehenden die Erzeugung einer hygienisch einwandfreien Milch im allgemeinen ausgeführt habe. —

Dass für den Säugling die Muttermilch dasjenige Nahrungsmittel ist, das ihm am allermeisten zusagt, ist in den natürlichen Verhältnissen begründet; es muss deshalb, wenn es sich um den Muttermilchersatz handelt, zunächst für eine Milch ähnlicher, chemischer Zusammensetzung gesorgt werden, die aber von Hause aus natürlich möglichst einwandfrei in hygienischer Beziehung ist. — Die Frauenmilch ist bekanntlich chemisch wesentlich anders zusammengesetzt wie die Kuhmilch; die Kuhmilch hat mehr Salze und mehr Eiweiss, aber weniger Zucker, dies bewirkt auch, dass die Kuhmilch im Kindermagen zu festen Klumpen gerinnt und nur zum Teil verdaut wird, während die Frauenmilch ein feinflockiges Gerinnsel bildet, welches ganz verdaut wird; man muss also die Kuhmilch mit Wasser verdünnen, um den Salz- und Eiweissgehalt zu verringern und Nährzucker zusetzen, um den Zuckergehalt zu erhöhen; diese Mischung muss natürlich für jedes Lebensalter verschieden und sehr genau hergestellt werden, damit das Kind stets gleichmässige Nahrung erhält. Bei Herstellung solcher Kindermilch ist es, wie schon oben bemerkt, in erster Linie unbedingt erforderlich, dass die bezügl. der Milchgewinnung angeführten hygienischen Grundsätze in besonders energischer Weise durchgeführt werden, damit eine möglichst keimarme Milch zur Verarbeitung in die Säuglingsmilchanstalt gelangt. Solche keimarme Milch wird nun mittelst verschiedener Verfahren behandelt, um sie erstens dem Säugling bekömmlich zu machen und zweitens Vorsorge zu treffen, dass darin enthaltene Bakterien nicht weiter sich entwickeln; zu letzterem Zwecke wird sie sterilisiert bezw. pasteurisiert; die diesbezügl. Verfahren von Soxleth und Backhaus etc. setze ich als bekannt voraus, ich führe deshalb bloss ein neueres Verfahren, wie es in einigen kommunalen Säuglingsmilchanstalten (Köln, Offenbach u. s. w.) im Brauche ist, an: in die Säuglingsmilchanstalt verbracht wird die Milch dann durch speziell eingerichteten maschinellen Betrieb bearbeitet und zunächst angewärmt auf 40—50° C und im sog. Separator vom Milchschlamm befreit (bei ca. 80 Liter Milch bleibt im Separator $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ Liter Schlamm zurück). Der gewonnene Rahm, der 12,5% Fett ent-

halten soll, wird nun durch Magermilchzusatz stets verdünnt, um auf diesem Fettprozentsatz zu bleiben; aus diesem Rahmgemenge wird nun unter Zusatz von Magermilch, Wasser und Milchzucker die Säuglingsmilch und zwar in fünf verschiedenen, dem Alter und der Verdauungsfähigkeit der Säuglinge entsprechenden Mischungen hergestellt und in Portionsfläschchen abgefüllt, die dann sterilisiert werden. — Der heikelste Punkt hinsichtlich der Bekömmlichkeit der Milch für die Säuglinge ist die Sterilisation; sie bleibt nach wie vor ein unentbehrliches Übel, denn es werden eben dadurch die natürlichen Nutzstoffe der Milch zerstört und die Verdaulichkeit der Milch durch Gerinnen einzelner Eiweissstoffe erschwert; andererseits gibt es aber zur Zeit kein besseres Verfahren zum Unschädlichmachen der bakterienhaltigen Milch, sei es nun, dass diese Bakterien von der Kuh stammen oder vom Menschen her in die Milch gelangt sind. — Diese städtischen Säuglingsmilchanstalten, die zum Teil mit grossen laufenden und einmaligen Einrichtungskosten erbaut sind, liefern aber jeder Zeit eine Milch, die bei der Säuglingsernährung bis jetzt noch nicht übertroffen worden ist; im Interesse der Sparsamkeit sind diese Anstalten je in einem eigenen Gebäude auf den Schlachthöfen der Städte errichtet worden, wo sie dann auf leichte und bequeme Art mit an die dort vorhandenen Dampfanlagen etc. angeschlossen werden können; der Erfolg dieser städtischen Anlagen liegt darin, dass von dem Augenblicke der Milchgewinnung bis zur Verabreichung an die Säuglinge die peinlichste Sauberkeit beobachtet wird und durch das gesamte Herstellungsverfahren eine nahezu keimfreie und der Muttermilch möglichst ähnliche Beschaffenheit der Milch infolge eines sinnreichen Verfahrens der Kühlung, Entlüftung, des Filtrierens, der Entschlammung, der Mischung und der Sterilisation garantiert und ihr ein köstlicher Wohlgeschmack verliehen wird nebst ausserordentlicher Bekömmlichkeit, wie sie von keiner natürlichen Kuhmilch oder sonstigen Kuhmilchverarbeitung, sowie von keinem anderen Milchpräparat auf die Dauer und hinsichtlich der späteren Entwicklung der Kinder erreicht wird. Die z. B. in Bergisch-Gladbach in fünf verschiedenen Mischungen hergestellte Säuglingsmilch entspricht genau dem Alter und der Verdauungsfähigkeit der Säuglinge und übertrifft die nach Prof. Soxleth durch einfache Verdünnung mit Wasser hergestellte Säuglingsmilch bedeutend an Verdaulichkeit; der höhere Rahm-

gehalt lässt das Kaseïn der Kuhmilch im Kindermagen in feinen Flocken gerinnen und macht es ausserordentlich leicht verdaulich, so dass überall glänzende Erfolge erzielt werden: solche Kindermilch wird dort an gänzlich unbemittelte Eltern das Liter um 25 Pfennig abgegeben, an besser bemittelte Eltern um 40—50 Pfennig. Bei einer täglichen Verarbeitung von 200 Litern Milch ist ein Zuschuss von 2000 Mark pro anno von seiten der Gemeinde nötig; die Einrichtungskosten betragen ca. 3000 Mark ohne Gebäude. Dass solche Säuglingsmilchanstalten, wenn sie von den Kommunen errichtet werden, in jeder Hinsicht ihrem Zweck mehr dienen können, wird sogar von einsichtigen Milchproduzenten, die eigene Milchproduktionsanstalten haben, eingesehen; ich könnte dafür viele namhafte Persönlichkeiten solcher anführen.

Zu erwähnen ist noch, dass neuerdings keimfreie Milch herzustellen versucht wird mittelst verschiedener Desinfektionsmittel, die der Milch beigemengt werden; von den verschiedenen diesbezügl. Versuchen erwähne ich als das Allerneueste die sog. „Perhydrasemilch". Diese Methode besteht darin, dass der Milch während des Melkens Perhydrol = H_2O_2 zugesetzt wird, wodurch die Milch völlig keimfrei werden und sich viele Monate halten soll; wenn nun diese so behandelte Milch genossen werden soll, dann wird sie von dem Perhydrol dadurch befreit, dass ein Stoff (Hepin oder Milchkatalase) der Milch zugesetzt wird, worauf sich die Milch unter Brausen und Schäumen durch Spalten des H_2O_2 in H_2O u. O zur völlig normalen Milch ohne fremde Beimengung und mit ganz normalem Geschmack wieder verwandeln soll; solche Milch wird dann Perhydrasemilch genannt. Diese Milch kann gesetzmässig überall hin versandt werden; sie muss nur als solche deklariert werden. — Der gewaltige Vorteil dieser Perhydrasemilch liegt darin, dass ein chemisches Konservierungsmittel nur vorübergehend der Milch zugeführt wird, das jeden Moment vollkommen zu entfernen ist unter Bildung völlig harmloser Zersetzungsprodukte, des Wassers und des Sauerstoffs.

Die vom hygienischen Standpunkte aus auf's Nachdrücklichste zu stellende Forderung, dass für die Säuglingsmilch eine reine Rohmilch zur Verfügung stehe, würde durch die Auffindung und die praktische Verwendbarkeit der Perhydrasemilch in idealer Weise erfüllt; es ist nun Sache der beteiligten Kreise, Versuche mit dieser Milch in grossem Massstabe anzustellen;

Versuche und Erprobungen mit dieser Milch haben schon an den verschiedensten wissenschaftlichen Instituten stattgefunden, wobei überall betont wurde, dass die Milch bakterienfrei sei, dass sie sehr geschmackvoll sei und sich von frischgemolkener Milch nicht unterscheidend, auch durch Kochen nicht verändert werde; hergestellt wird diese keimfreie, rohe Dauermilch bis jetzt bloss in Ungarn.

Mit meinen Ausführungen glaube ich in kürzeren Zügen ein Bild der hygienischen Forderungen an die Milch gegeben zu haben, woraus man wohl mit Leichtigkeit entnehmen kann, dass es eine absolute Notwendigkeit ist, dass diese Verhältnisse einer polizeilichen Regelung auf dem Wege der Reichsgesetzgebung unterzogen werden; solange dies noch nicht der Fall ist, müssen sich die Gemeinden durch speziell eigene Bestimmungen in dieser Hinsicht helfen; es ist dies bereits von verschiedenen Städten in Deutschland geschehen und wird auch für Ulm bald kommen; die Bestimmungen über die milchpolizeilichen Verhältnisse, wie sie z. B. Hamburg, München, Stuttgart und andere Städte haben, zeigen, dass an diesen Plätzen diese Frage eine vorbildliche Lösung gefunden hat, wie sie hoffentlich in Bälde für das ganze deutsche Reich gelöst werden wird; mit dem Wunsche, dass dies bald der Fall sein möge, schiesse ich meine Ausführungen.

— — —

Nachtrag: in Ulm sind seit Juli 1909 neue Bestimmungen betr. den Verkehr mit Milch in Kraft getreten, die sich völlig an die in den oben genannten Städten bestehenden Bestimmungen anschliessen und allgemein den in den obigen Ausführungen gebrachten Grundsätzen entsprechen.

Bohrversuche auf mineralische Kohlen in Württemberg.

Von Prof. **A. Haug.**

Die mineralischen Schätze unseres Landes sind keineswegs zu verachten: ist auch von einer besonderen Rarität wohl kaum etwas zu berichten, so stellen diese Produkte, nämlich verschiedene Sandsteinarten, Gips, Steinsalz, Zementmergel, Mineral- und Heilquellen u. s. w. in ihrer Gesamtheit doch einen Faktor dar, der im wirtschaftlichen Leben Württembergs eine hervorragende Rolle spielt. Freilich, wertvolle Erze oder gar Edelsteine sind ihm wie vielen anderen nicht beschieden, vor allem auch fehlen ihm — vom Torf abgesehen — Stein- und andere mineralische Kohlen. Wohl zeigten sich unbedeutende Spuren solcher an vielen Orten, die eigentliche Steinkohle zwar nicht, aber in verschiedenen geologischen Formationen kohlige Reste, die anderwärts massenhaft vorkommen und als Brennmaterial verwendet werden können, und die bei uns immer wieder die Hoffnung auf bauwürdige Flöze weckten, eine Hoffnung, die bei der Unkenntnis früherer Zeiten in geologischen Fragen überhaupt und in den geologischen Verhältnissen unseres Landes im besonderen nur zu leicht eine gründliche Enttäuschung erfahren musste. Nachdem voriges Jahr Versuche gemacht worden sein sollen, Gelder zu neuen Bohrungen auf Kohlen aufzubringen, ist es vielleicht von einigem Interesse, die Resultate, vielmehr die Misserfolge früherer Versuche, wenigstens der wichtigeren in dieser Richtung, vorzuführen.

In erster Linie kommt in Betracht die

Steinkohle,

eine Kohlenbildung der Steinkohlenperiode, welche in der paläozoischen Ära zwischen das Übergangsgebirge und die Dyas, näherhin zwischen Devon und Rotliegendes einzuschalten ist. Die Steinkohlen- oder Karbonperiode gliedert sich in zwei Epochen oder Serien, eine untere flözleere, den sog. Kohlen- oder Bergkalk, der neben mächtigen Kalkschichten auch Tonlager aufweist, und eine obere, das produktive Karbon, in welchem zwischen Sandstein und Schieferton, dem Kohlensandstein bezw. Kohlenschiefer, in kleinerer oder grösserer Anzahl und Mächtigkeit die Kohlenflöze auftreten.

Will man also planmässig nach Steinkohlen suchen, so erhebt sich die Frage: ist die Steinkohlenformation selbst oder zunächst deren Hangendes und Liegendes d. h. das Rotliegende bez. das Devon, in unserem Lande vertreten oder nicht?

Schon lange ist bekannt, dass im badischen Schwarzwald nicht bloss die Steinkohlenformation, sondern echte Steinkohlenflöze vorhanden sind und zwar an drei Punkten im mittleren und nördlichen Schwarzwald, nämlich bei Berghaupten und Diersburg westlich von Gengenbach, Geroldseck westlich von Biberach a. d. Kinzig und Baden-Baden. Bauwürdige Flöze kommen nur bei Berghaupten zwischen Granit und Gneis eingezwängt in einer Mächtigkeit von 2—3 m vor und bestehen aus einer älteren, deshalb mehr anthrazitischen Kohle, die der untersten Stufe des Oberkarbons, den sog. Waldenburger Schichten zuzuweisen ist. Die Kohlen von Geroldseck und Baden-Baden sind etwas jünger und nicht bauwürdig (Engel). Auch bei Umwegen und Varnhalt wurden Kohlen in unbedeutenden Mengen gewonnen. Die Schichten des Steinkohlengebirges treten bei Baden-Baden teils in isolierten Partien, teils in einem fortlaufenden Zuge von Neuweier und Varnhalt bis nach Gernsbach auf, wobei die Mächtigkeit gegen Gernsbach hin stark abnimmt. In der weiteren nordöstlichen Verlängerung dieses Gebiets liegt das unten zu erwähnende Bohrloch von Dürrmenz-Mühlacker.

Das Auftreten von Steinkohlen in Baden musste natürlich die Hoffnung wecken, auch im württ. Schwarzwald „schwarze Diamanten“ zu finden. Wo tritt nun auf schwäbischem Boden das Steinkohlengebirge auf?

Herr v. Alberti fand in der Nähe des Schramberger Hammerwerks „unmittelbar über Granit und unter einem grauwackenähnlichen, von grauem pflanzenführenden und rotem Schieferton durchzogenen Gestein eine dem Kohlensandstein verwandte Gebirgsart“ (Eck) und empfahl deshalb einen Bohrversuch an diesem Platze. Tatsächlich scheint Schramberg der einzige Punkt in Württemberg zu sein, wo Spuren des Steinkohlengebirges auftreten. Bei obengenannter Hammerschmiede kommen weissliche Arkosesandsteine und dunkle z. T. pflanzenführende Schiefertone vor, welche zwischen Granit und unterstem Rotliegendem sich befinden. Allerdings ist es nach Untersuchungen von Prof. Sterzel, der unter dieser Schramberger Flora die dem Rotliegenden angehörige Walchia piniformis fand, zweifelhaft, ob es sich um Oberkarbon oder um unteres Rotliegendes handelt.

Das Kohlengebirge — so schloss man — könne überhaupt überall vorkommen, wo Rotliegendes vorhanden ist. Dass das Übergangsgebirge bei uns nirgends zutage tritt, scheint von Anfang an bekannt gewesen zu sein, auch in der Tiefe fehlt es, wie die Bohrungen bewiesen, nur im Bohrloch von Ingelfingen wurde es erreicht. Im badischen Schwarzwald kommen bei Baden-Baden Grauwacken und am Traischbachtal bei Gaggenau an der Murg, sowie nordwestlich von der Ebersteinburg (unweit Gernsbach) etwas Devon vor. Deshalb gründen sich die meisten Vorschläge von Bohrversuchen auf die Meinung, am ganzen Ostabfall des Schwarzwalds sei zwischen dem Grundgebirge, das im gesamten Schwarzwald vorwiegend aus kristallinischen Schiefern (besonders Glimmergneisen) mit 4 Hauptgranitmassiven, durchsetzt von verschiedenen Eruptivgesteinen, besteht, und den postkarbonischen Sedimenten, in erster Linie also dem Rotliegenden, das Steinkohlengebirge eingeschaltet.

Auf den kristallinischen Schiefern lagern die Schichten des Buntsandsteins, dann die des Muschelkalks, soweit sie später nicht wieder abgetragen wurden; doch zeigt sich da und dort auch das Rotliegende, wenn es auch zu keiner Zeit eine geschlossene Decke des Schwarzwaldes bildete.

Das untere Rotliegende, das wesentlich aus Konglomeraten und Arkosen zusammengesetzt ist und in seinem untersten Teil im nördlichen Schwarzwald z. B. bei Oppenau oft auch Kohlenschmitzen enthält, tritt, wenn überhaupt in Württem-

berg, nur bei Schramberg zutage; es wären die obengenannten, bisher dem Steinkohlengebirge zugeschriebenen Arkosesandsteine und Schiefertone.

Das mittlere Rotliegende besteht aus roten Schiefertonen und Dolomit, dazu kommen als Hauptsache „gewaltige Decken von Porphyr und Porphyrtuff, der hauptsächlich während der Bildungszeit dieses mittleren Rotliegenden ausgebrochen zu sein scheint“ (Engel). Aufgeschlossen ist es an einigen Stellen im Murgtal z. B. bei Obertal, wo in den Tonsteinen (Porphyrtuff) unbestimmbare Calamitenreste vorkommen, bei Sulzbach, im Buhlbachtal.

Besonders ist in Württemberg das obere Rotliegende vertreten, das sich hauptsächlich aus roten Schiefertonen, aus Sandsteinen und Konglomeraten zusammensetzt, oben rote Gesteinsgrusmassen und Dolomit mit Karneol aufweist. Es hat im Kinzig- und Murggebiet eine weite Verbreitung und bei Schramberg eine bedeutende Mächtigkeit, tritt ferner bei Reinerzau, im Enztal, bei Freudenstadt u. s. w. auf. (Näheres bei Engel.)

Die verschiedenen Bohrversuche zeigten, dass bei uns — von Schramberg und Ingelfingen abgesehen — das Rotliegende durchweg auf dem Grundgebirge aufsetzt, Karbon und Übergangsgebirge also fehlen. Auch ist in unseren Basalttuffen zwar Urgestein, aber keine Spur von Gesteinsbrocken aus jenen zwei Perioden entdeckt worden, weshalb der Schwarzwald während der Steinkohlenzeit trockenes Land war. Was wir jetzt wissen, war aber in früherer Zeit nicht bekannt; wie eben gesagt, wurde gerade durch die Bohrungen auf Kohle uns erst ein Einblick in die Verhältnisse erschlossen. Von diesen Tiefbohrungen mit ihren getäuschten Hoffnungen soll im folgenden die Rede sein.

Kein schwäbischer Geologe, sagt O. Fraas, zweifelte bei der Regelmässigkeit der geologischen Schichtung unseres Landes daran, dass auch die Steinkohlenformation bei uns vorhanden sei; ob sie aber bauwürdige Flöze enthalte, könne nicht zum voraus entschieden werden, sondern sei lediglich Sache des Versuchs. Anfangs glaubte man, die Kohle am Rande des Schwarzwaldes, wo das Rotliegende zutage tritt, suchen zu müssen und im Hinblick auf die bei Gengenbach in der Nähe des Granits auftretende Kohle wählte man Buhlbach bei Baiersbronn als erstes Schwarzwälder Bohrloch. In der Nähe der Glashütte begann man am 31. Juli 1829 im Tonstein die Bohrarbeit. Bei

800 Fuss Tiefe stiess man auf einen Sandstein, in welchem bis 952 Fuss gebohrt wurde; dann stiess man auf granitisches Gestein, weshalb der Versuch am 22. März 1834 eingestellt wurde, nachdem zwischen hinein mehr als ein Jahr verstrichen war, um einen am 9. August 1832 eingetretenen Gestängebruch zu reparieren.

Bereits 1831 hatte man bei Schramberg einen 70 Fuss messenden Stollen getrieben und „Kohlensandstein" mit Pflanzenresten, bei 91 Fuss die ersten Schiefertonschichten erreicht, doch wurde dieser und ein weiterer Versuch 1833 eingestellt. Nach dem Misserfolg von Buhlbach versuchte man es am 3. Oktober 1834 bei Schramberg mit einer Tiefbohrung von der Talsohle aus in der Nähe des Schlossgartens. Man setzte den Bohrer im Sandstein des oberen Rotliegenden an, stiess bei 459 Fuss auf einen weissen, quarzreichen Sandstein, der für Kohlensand gehalten wurde, jedoch dem hier 131 Fuss mächtigen unteren Rotliegenden angehört, dann auf Schiefertone, die von dünnen Kohlenschnüren durchzogen waren, und bei 678 F. auf einen weissen, feinkörnigen Sandstein mit Trümmern von „Feldsteinporphyr"; mit 754 Fuss hatte man bereits 6 Fuss Quarzporphyr durchsenkt, weshalb der Versuch am 1. Dezember 1836 als zwecklos aufgegeben wurde.

Im Oktober 1839 wandte man sich wieder nach Schramberg und machte in der Weihergasse, gegenüber der Papiermühle vom oberen Rotliegenden aus einen Bohrversuch. Vom oberen Rotliegenden wurden 887 Fuss, vom mittleren 254 und vom unteren 219 Fuss durchteuft, dann folgten 176 Fuss Sandstein und bläulicher Schieferton des Steinkohlengebirges (Eck), schliesslich 19,6 Fuss Porphyr, so dass die Gesamttiefe des Bohrlochs 1571,6 Fuss beträgt. Die Arbeit wurde am 7. März 1849 eingestellt.

Die vergeblichen Versuche am Rande des Schwarzwaldes, welche 56,748 Gulden 11 Kreuzer kosteten, führten zu der Ansicht, dass hier eine Kohlenmulde wohl nicht vorhanden sei, und auf der Versammlung des Vereins für vaterländische Naturkunde am 2. Mai 1845, in welcher Quenstedt „über die Hoffnung auf Steinkohlen in Württemberg" sprach, führte dieser Gelehrte aus, dass die bei Schramberg gefundenen Sandsteine und Schiefertone auf Kohlen deuten, das Urgebirge aber zu nahe und das Gebiet zu klein sei, als dass bedeutende Resultate gehofft wer-

den könnten. Da das Steinkohlengebirge sich rings herum am Schwarzwald finde, so wäre es wider alle Analogien, wenn dasselbe weiter einwärts im Becken des Neckars fehlen sollte. Es werde nicht nur vorhanden, sondern wahrscheinlich noch stärker entwickelt sein. Er wies u. a. auf die Verhältnisse im Muschelkalk hin: am Rande dieses Gebirges finde man zwar Salz, aber erst unter der Masse des Hauptmuschelkalks seien die Salzlager verborgen. Es sei zehn gegen eins zu wetten, dass das Kohlengebirge vorhanden sei: mit apodiktischer Gewissheit könne dies zwar niemand sagen, es sei aber eine Reihe von Versuchen nötig, um in unserem Stufenlande die Formationen kennen zu lernen. Er rate, die Ränder zu verlassen, sich vom Schwarzwald bedeutend zu entfernen und sich der Mitte des zwischen Schwarzwald, Odenwald und Spessart einerseits, schwäbischer und fränkischer Alb andererseits liegenden Beckens zu nähern. Hier hätte man auch nur die von ihm auf 800 Fuss geschätzte Mächtigkeit des Buntsandsteins (sie schwankt im Lande zwischen 180 und 270 m) zu überwinden, der Zechstein werde vermutlich nicht mächtig sein (tatsächlich fehlt er im eigentlichen Schwarzwaldgebiet). So könnte schon der erste Versuch entscheiden, ob das Steinkohlengebirge zwischen Schwarzwald und Alb vorhanden sei oder nicht. Es liege auch ein wichtiges wissenschaftliches Interesse vor. Er riet, zwischen Sulz und Horb, speziell bei Dettingen, wo im Neckartal Buntsandstein ansteht, und an anderen Orten zu bohren.

Auf der Versammlung des Vereins für vaterl. Naturkunde am 1. Mai 1846 in Tübingen wurde wieder „über die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Steinkohlen in Württemberg“ gesprochen. In seinem Vortrag war Prof. Dr. Kurr der Ansicht, dass bei uns zwei Hauptbedingungen für die Steinkohlenbildung fehlten, nämlich 1) ein mehr oder weniger ausgedehntes Festland, von Wäldern und Sümpfen bedeckt; 2) ein lockerer Boden, worauf die Steinkohlenpflanzen wachsen konnten. Daraufhin verteidigte Quenstedt in längerem Vortrag seinen Standpunkt vom Jahr 1845. Den ersten Einwand liess er nicht gelten, hierüber könne niemand etwas sagen; auch den zweiten nicht, es sei schwierig, „über solche Spezialitäten der Ablagerung aburteilen zu wollen.“ Die Kohlen seien von den unterliegenden Gesteinen unabhängig.

Als geeignete Ansatzpunkte zu Bohrungen wurden auch

Nagold, Weildiestadt, Neuenbürg und die Gegend von Besigheim empfohlen. Womöglich trachtete man im Buntsandstein oder in der Nähe der Grenze desselben die Bohrung zu beginnen, um nicht noch jüngeres Gestein unnötig durchsenken zu müssen; doch wurde „später auch die Ansicht ausgesprochen, dass bei der wahrscheinlich übergreifenden Lagerung der Trias auf dem Kohlengebirge unter günstigen Umständen ein im Muschelkalk angesetztes Bohrloch leichter zu Kohle gelangen könnte als ein anderes im bunten Sandstein.“ (Eck.) Diese Meinungen veranlassten die Bohrungen bei Dettingen, Dürrmenz-Mühlacker, Ingelfingen, Dunningen und Oberndorf.

Im Herbst (19. September) des Jahres 1846 beriet eine vom Finanzministerium eingesetzte Kommission über die Vornahme von Bohrversuchen an drei Punkten: am oberen Neckar zwischen Sulz und Schramberg, am unteren Neckar in der Gegend des Enztales und am Kocher bei Niedernhall, doch wurde die Ausführung durch die Ereignisse des Jahres 1848 verschoben.

Auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Tübingen im September 1853 wurde auch die Kohlenfrage zur Sprache gebracht und im gleichen Monat begann die preussische Regierung mit einem Bohrversuch am oberen Neckar bei Dettingen, zwischen Sulz und Horb, wo, wie bereits gesagt, auf einer kleinen Stelle mitten im Muschelkalk Buntsandstein zutage tritt. Das Bohrloch erreichte eine Tiefe von 1749,5 preuss. Fuss = 1914 württ. F., durchstiess vom Buntsandstein 490, vom Rotliegenden 1259,5 pr. F. und endete wahrscheinlich an der Grenze von mittlerem und unterem Rotliegenden. Damals aber war man im Zweifel, ob die durchsenkten Schichten nicht noch zum Buntsandstein gehören, weshalb die Fortführung der Arbeiten ausgesetzt wurde, „bis nach weiterer Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, die Kohlenformation in einer entsprechenden Tiefe anzutreffen, über die Zweckmässigkeit der Tiefbohrung entschieden sein würde.“ Die mit allerlei Schwierigkeiten verbundene Arbeit scheint dauernd eingestellt worden zu sein.

Um die Unterlage des Rotliegenden in Württemberg kennen zu lernen, wurden die beabsichtigten Bohrversuche im Enz- und Kochertal zur Ausführung gebracht. Im Herbst 1855 wurde 1/4 Stunde südwestlich von der Eisenbahnstation Dürrmenz-Mühlacker am linken Ufer der Enz an der Strasse nach Wiernsheim im oberen Muschelkalk mit einem 13zölligen Meissel-

bohrer von Hand zu bohren angefangen. Der Muschelkalk zeigte nach Eck eine Mächtigkeit von 417 F., der Buntsandstein 1555, darauf folgten 12 F. bituminösen Kalksteins, den man für Zechstein hielt, aber auch dem obersten Rotliegenden angehören kann. Am 1. Juni 1859 waren 1910 F. erreicht, die schliessliche Tiefe des Bohrlochs betrug nach Xeller 1915,4 F. (in den Eck'schen Zahlen — vergl. Jahresh. 1887, Seite 331 — muss irgend ein Fehler stecken). Jetzt wäre also noch das Rotliegende zu durchsenken gewesen, welches bei Ingelfingen etwa 1000 F. mächtig ist; diese Mächtigkeit auch für Dürrmenz vorausgesetzt, würde also hier das Kohlengebirge in der bedeutenden Tiefe von ungefähr 2900 F. liegen und ein Abbau der Kohlenflöze, falls solche vorhanden wären, würde sich nur rentieren, wenn sie in besonderer Mächtigkeit entwickelt wären.

Teilweise gleichzeitig wurde ein Bohrversuch unterhalb Ingelfingen, OA. Künzelsau, an der Strasse nach Niedernhall, 4 m über dem Niveau des Kochers, vom Buntsandstein aus vorgenommen. Die eigentliche Bohrarbeit begann im August 1857 und wurde durch zwei Dampfmaschinen gefördert. Der Buntsandstein erwies sich hier nach Huber als 1400,7 F. mächtig, darauf folgten 98,8 F. Schiefertone, Kalkstein und Dolomit, welche der Zechsteinreihe zugeschrieben werden, was nach Eck wohl möglich ist, denn sie gehören „dem sedimentären Mantel des Odenwaldes“ an und hier kommen Zechsteinbildungen bis Heidelberg vor. Dann begann mit Ton und weissem Sandstein das Rotliegende mit 1018,6 F. Mächtigkeit; diese Sandsteine gaben neue Hoffnung auf Kohle, denn man hielt es nicht für ausgeschlossen, dass es der Kohlensandstein sein könnte. Dazu kamen dann noch 312 F. Übergangsschiefer und Kalke unbestimmten Alters, so dass die Gesamttiefe dieses Ingelfinger Bohrlochs 2847,1 F. beträgt und dasselbe das tiefste im Lande ist. Bei 677,7 F. begannen Kohlensäure-Ausströmungen, die, wie es scheint, länger anhielten. Da man in Ingelfingen den „Zechstein“ bälder erreichte als in Dürrmenz, so stellte man hier die Arbeit am 9. Juni 1859 ein und konzentrierte sich ganz auf Ingelfingen; übrigens brauchte damals der Staat auch Gelder zu Kriegsrüstungen.

Auf der Versammlung des „Vereins für vaterl. Naturkunde“ am 24. Juni 1859 berichtete Bergrat Schübler „über die Ergebnisse der Bohrarbeiten auf Steinkohle in Württemberg“, be-

sonders auch über die Versuche von Dürrmenz und Ingelfingen. Er führte u. a. aus: Die weiter südlich gelegenen Gebirge des Schwarzwaldes und der Schweiz zeigen nirgends Steinkohlenablagerungen (ein Versuch bei Rheinfelden anfangs der 70er Jahre verlief tatsächlich ergebnislos); dagegen finden sich solche in nördlicher Richtung am Saume des Thüringer Waldes und in westlicher Richtung in der Saargegend, weshalb die Erforschung der nördlich gelegenen Flözformation besondere Beachtung verdiene. Für das Rotliegende und den Kohlensandstein vermutete er bei Ingelfingen eine Mächtigkeit von 1000—1500 F., weshalb dieser Bohrversuch auf 2500—3000 F. fortgesetzt werden müsste. Dann aber läge die Kohle zu tief unten; daher setzte Schübler seine Hoffnung auf Unregelmässigkeiten in der Lagerung des Gebirges.

Als man bei Ingelfingen das Übergangsgebirge erreicht hatte, wurde natürlich alle Hoffnung aufgegeben und die Arbeit am 21. März 1863 eingestellt.

Der nächste Versuch war der an der Stampfe bei Dunningen, ½ Stunde nordwestlich vom Dorf, in der Zeit von 1861—63. Vom unteren Muschelkalk aus (10 F.) kam man durch Buntsandstein (495,3 F.) und Rotliegendes (448,7 F.), bei 956,7 F. schon auf Granit. Der Ansatzpunkt für das Bohrloch war zu weit südlich gewählt.

Nun ging man wieder etwas weiter gegen Norden und versuchte sein Glück bei Oberndorf in der Zeit von 1865—74. Man begann unweit der Gewehrfabrik im unteren Muschelkalk (18,8 F.), der Buntsandstein mass 553,3, das Rotliegende 1130,8 F., wenn man dazu die zuletzt erbohrten 17,4 F. Arkosesandsteine ähnlich denen vom Hammerwerk bei Schramberg zählt. Das Kohlengebirge wurde also hier höchstens nur angebohrt (Eck in den „Jahresheften", 1890). Das Bohrloch war 1702,9 F. tief, als es wegen einer Festklemmung des Bohrers und einer Reihe von Brüchen, welche bei den Hebungsversuchen nachfolgten, eingestellt wurde.

1884 riet Prof. v. Eck in einem der Regierung vorgelegten Gutachten zu einem Versuch bei Sulz. Auch er ging von der Ansicht aus, dass, wie in der zwischen dem Offenburg-Schönmünzacher und dem Triberger Massiv liegenden Mulde Kohle gefunden wurde (Berghaupten), solche auch in der von Schramberg nordostwärts sich hinziehenden Mulde vorhanden sein könnte.

Das Bohrloch von Oberndorf hatte bereits 170,5 F. unteres Rotliegendes durchsunken, während das von Dettingen bei 1914 F. sehr wahrscheinlich an der Grenze des mittleren und unteren Rotliegenden steht. Letzteres hat gewöhnlich keine grosse Mächtigkeit, weshalb Eck annahm, dass gerade zwischen Oberndorf und Dettingen ein Gebiet sich befindet, in dem das Steinkohlengebirge, wenn überhaupt vorhanden, in erreichbarer Tiefe liegt. So wurde 1887 bei Sulz im Anhydritgebirge der Bohrer angesetzt mit dem Ergebnis, dass 80 m mittlerer und unterer Muschelkalk durchsenkt wurden, 574 m Buntsandstein und oberes Rotliegendes, 217 m mittleres Rotliegendes und 34 m (?) Urgebirge (zersetzter Glimmerdiorit und Gneis), zus. 905 m. In der unteren Stufe des mittleren Rotliegenden traten schwarze Schiefertone und dunkle Kalke auf, welche „eine verfrühte und leider unbegründete Hoffnung auf Steinkohlen erweckten“ und von denen man damals nicht wusste, ob man es mit Bergkalk oder Schichten des Oberdevon zu tun habe. Der Versuch war wie die anderen wertvoll für die geologische Wissenschaft, aber die mit so viel Eifer und Unkosten gesuchte Steinkohle konnten sie alle nicht entdecken und auf Grund dieser misslungenen Versuche ist die Hoffnung so gut wie entschwunden.

Wenden wir uns nun zu den Kohlenbildungen jüngerer Formation.

Lettenkohle.

Der Sand- und Werkstein der unteren Lettenkohlenformation, die bei uns als Zwischenbildung zwischen Muschelkalk und Keuper das Deckgebirge des Hauptmuschelkalkes bildet, wird nach oben dünner und plattiger und die vielen Pflanzenreste, die er so häufig einschliesst, gehen da und dort in eine eigentliche Kohlenschichte über, die freilich viele erdige Bestandteile enthält und eben deshalb Lettenkohle heisst und der ganzen Schichtenreihe den Namen gegeben hat. Auch in den dolomitischen Mergeln der mittleren Lettenkohle treten immer wieder Kohlenschmitzen auf (Engel).

Die Kohle ist durchschnittlich kaum 1 dm mächtig und liefert kein zum Brennen taugliches Material, erregte aber zu allen Zeiten die Hoffnungen von Laien. So wurde 1750 ein vergeblicher Versuch eine halbe Stunde von der Stadt Sulz entfernt gemacht; dort wurde ein 15—30 cm mächtiges Flöz, das aber bald sich auskeilte, eine zeitlang abgebaut. Ebenso

versuchte man es mit einem etwa $^1/_2$ m mächtigen Flöz bei Gaildorf. Da die Kohle viel Schwefelkies enthält, der leicht zu Vitriol verwittert, so wurde sie in Ödendorf bei Gaildorf auf Alaun, bald aber zur Fabrikation anderer Chemikalien (Glaubersalz, Soda, blausaures Kali, Schwefelsäure) benützt. Seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts sind die Ödendorfer Gruben, die 1829 etwa 150 Personen beschäftigten, verlassen. Auch in Gaildorf selbst wurde von 1758 an lange Zeit Vitriol und Alaun hergestellt und bei Westernach, OA. Öhringen, bestand $^1/_4$ Stunde westlich vom Dorf die Wilhelmsgrube, in welcher Lettenkohle zur Vitriol- und Alaunbereitung gewonnen wurde.

Bereits im Jahre 1794 vereinigte sich unter der Direktion des Salinenverwalters Hofrat Glenk eine Gesellschaft, um in den Hohenlohe'schen Landen Kohlen aufzusuchen. Auf dem Hermersberg bei Niedernhall, bei Hollenbach, Öhringen und Schrozberg, wurden Versuchsschachte angelegt, in welchen man zwar bald bituminöses Holz und mit Ton und Schwefelkies verunreinigte Kohlenschiefer fand, aber auch gleichzeitig mit Wasser viele Schwierigkeiten bekam, welche man im Kochertal, der Saline Weisbach gegenüber, durch den sog. Ziegelstollen beseitigen wollte; gleichzeitig dachte man die gesuchten Kohlenflöze von unten her zu fassen; allein das Unternehmen musste wegen verschiedener Schwierigkeiten frühzeitig eingestellt werden.

Keuperkohlen.

Auch die Keuperformation schliesst Kohlen ein und zwar in allen drei Horizonten: im unteren, mittleren und oberen Keuper, aber auch sie haben keinen technischen, sondern nur historischen Wert. Die im Schilfsandstein häufig vorkommenden Calamiten „verdichten sich oft zu einer förmlichen Kohlenschicht", die lange Zeit mit der Lettenkohle verwechselt wurde. Der herzogliche Baumeister Schickardt liess 1611—17 in den Stuttgarter Kriegsbergen eine Reihe von Stollen in die dortige 4zöllige, erdige Keuperkohle treiben und verwendete die gewonnene Kohle, von welcher ihn der Zentner auf 12 Kreuzer kam, in seinem Kalkofen zu Zuffenhausen. Die Arbeit rentierte sich nicht und wurde nur fortgesetzt in der Hoffnung, im Innern ein bauwürdiges Lager zu finden. Diese Hoffnung erfüllte sich nicht, ebenso in den Jahren 1750 (1752?) und 1782, wo die alten Gruben wieder aufgenommen wurden. (O. Fraas)

Im Stubensandstein des mittleren Keupers sind Reste von Calamiten oft in solcher Menge zusammengeschwemmt, dass sie kleine Kohlennester bilden, welche vielfach, aber ohne dauernden Erfolg auszubeuten versucht wurden z. B. bei Weil im Schönbuch, Mittelstadt, Beilstein, Gochsen, Ebersbach und Reichenbach, Pfahlbronn, Murrhardt, Tranzenbach bei Besigheim, Löwenstein, Nassach, Täbingen OA. Rottweil und vielen anderen Orten. Dass man „mit wahrer Manie“ und unter Verschleuderung von Tausenden über diese Kohlen sich hermachte, hatte seinen Grund darin, dass im Mai 1710 Herzog Eberhard Ludwig die Steinkohle unter die als frei erklärten Mineralien aufgenommen hatte, womit die Aufsuchung und Gewinnung derselben Privatunternehmungen überlassen blieb. Eine geologische Wissenschaft gab es damals noch nicht, die Gutachten der Gelehrten sind alle von dem Irrtum geleitet, als sei der Keupersandstein identisch mit dem rheinischen Kohlensandstein, und wenn da und dort einige Zentner Kohlen ausgegraben wurden, so glaubte man, es würden die Kohlen wie andere Steine im Innern des Berges wachsen, an Verbreitung und Mächtigkeit zunehmen, während sie am Ausgehenden unzeitig und unreif seien. Bei Löwenstein wurde 1798—1824 ein 4—5 Zoll mächtiges Flöz abgebaut, die besseren Kohlen als Brennmaterial, die geringeren zu Vitriol benützt. Der letzte Versuch wurde 1837 von Ciseleur Streeb am Abhang des Eisberges bei Esslingen unternommen, wo Kohle zutage trat und beim Anlegen von Stollen und Schächten in mehreren, nur 1—1½ Zoll mächtigen Lagen, gefunden wurde.

Im oberen Keuper und zwar in den Knollen- oder Zanclodon-Mergeln wiederholen sich die Kohlenbildungen. In der Gaildorfer Gegend sind diese Mergel 10—15 m mächtig und bei Mittelbronn (südl. von Gaildorf) von einer Kohlenschichte bedeckt, auf welche statt des Bonebedsandsteins gleich der Angulaten-Sandstein des schwarzen Jura folgt. Noch findet man dort Kohlenstücke und pflanzenführende schwarze Schiefer. Nach Alberti kamen hier früher Kohlennester von 2 m Dicke und etwa 10 m darüber nochmals solche von 0,3 m Mächtigkeit vor, über den letzteren, wie schon gesagt, der Lias. Schon im Jahre 1596 liess Herzog Friedrich I. von Württemberg bei Mittelbronn ein Bergwerk eröffnen, um den in der Kohle reichlich vorhandenen Schwefelkies in seiner Schwefel- und Alaunhütte

zu Frickenhofen zu verarbeiten, denn schon damals sah man ein, dass diese Keuperkohle als Brennmaterial sich nicht eigne. Übrigens war ursprünglich beabsichtigt, die Werkstätten im Remstal mit dieser Kohle zu versehen, weshalb in Schorndorf ein herzogliches Magazin errichtet wurde. Die Kohle wurde aber entweder direkt verschmäht oder waren die Urteile der Feuerarbeiter über ihre Güte und Brauchbarkeit sehr verschieden. Bei Eröffnung des Bergwerks durch den Herzog von Württemberg gab es Streit mit den ritterlichen Schenken von Limpurg, den Mitherren des Ortes, da diese das Bergregal für sich in Anspruch nahmen, und es kam „soweit, dass die Württemberger dem Schenken mit bewaffneter Hand die Herrschaft Welzheim, ein herzogliches Lehen des Schenken, und sein Dorf Schnaith einnahmen und besetzt hielten." Als aber die Kohle bald ausging, so war auch dieser Kohlenkrieg zu Ende. Nach den württ. Jahrbüchern kam das Bergwerk erst 1617 zum Erliegen und ruhte dann bis 1784, in welchem Jahr „ein wahres Bergwerksfieber in Württemberg ausbrach und fabelhaft mit Bergwerksaktien geschwindelt wurde." Auch für Mittelbronner Kohle bildete sich wieder eine Unternehmergesellschaft, 1787 hörte aber die Sache schon wieder auf. 1788 befahl Herzog Karl die nochmalige Vornahme einer genauen Untersuchung auf seine Kosten, die Arbeiten wurden aber 1789 wegen Gebietsstreitigkeiten mit dem Grafen Pückler zu Limpurg eingestellt. Letzterer überliess 1790 das Bergwerk einer Gesellschaft, welche dort Vitriol gewinnen wollte; von 1832—34 wurde es von der Ödendorfer Fabrik ausgebeutet, welche aber die Sache „wegen geringer Nachhaltigkeit" wieder aufgab. 1857 wurde wieder auf diese Kohle aufmerksam gemacht, sogar noch 1892.

Keuperkohlen wurden ferner gesucht bei Abtsgmünd, Tübingen 1784, Harthausen 1813, Einsiedel 1814, Spiegelberg 1821 bis 1824; übrigens berichtete schon 1755 der Leiter der Spiegelfabrik in Spiegelberg über einen Kohlenfund daselbst und meinte, „es wird noch herauskommen, dass wir mitten zwischen Steinkohlen liegen." Nun wäre kurz zu erwähnen die

Jurakohle.

Der Posidonienschiefer des schwarzen Jura enthält Flosshölzer, die, vermutlich von Coniferen herrührend, in glänzend schwarzen Gagat verwandelt sind. O. Fraas sah diesen als eine asphaltartige Ausscheidung der bituminösen Schiefer an.

Bronner untersuchte den Gagat von Holzmaden und rechnet ihn mit Rücksicht auf seinen Kohlenstoffgehalt zu den Braunkohlen, Varietät Pechkohle, weil er keine Holzstruktur zeigt. Auf diese Jurakohle, die an vielen Orten gefunden wurde, z. B. bei Schömberg, Dormettingen, Balingen, Hechingen, Reutlingen, Ohmden, Boll, Eislingen, Wasseralfingen, baute man die Hoffnung auf rentable Kohlenflöze und liess sich „in der Zeit der Kindheit der Geologie" zu kostspieligen Unternehmungen verleiten. Bei Aalen wurde 1830 vom Liegenden des unteren Erzflözes aus ein 638 F. tiefes Bohrloch angelegt, hiebei der untere braune und der ganze schwarze Jura bis auf den Angulatensandstein durchstossen. Man hatte es auf die eigentliche Steinkohle abgesehen, weil man die „bituminösen Schiefer und Eisensandsteine für Schiefertone und Kohlensandstein, die Begleiter der Steinkohle, hielt." Bei Neuffen trieb man, auf ein Gutachten des Grafen v. Mandelslohe hin ebenfalls vom braunen Jura aus ein Bohrloch und hoffte, den Lias und Keuper in nicht zu grosser Tiefe zu erreichen und auf sog. Wealdenkohle zu stossen, wie sie bei Neustadt am Rübenberge, am Deister u.s.w. vorkommt, jedoch der bei uns fehlenden Kreideformation angehört. Infolge eines Gestängebruches in 1192,5 F. Tiefe (im Keuper) wurde dieser Versuch, der unter der Leitung des Grafen vom 3. August 1832 bis 7. Juni 1839 dauerte und 36082 Gulden 37 Kreuzer kostete, eingestellt.

Tertiär- oder Braunkohlen.

Anfangs der 30er Jahre fand man im fränkischen Jura östlich von Wemding in einer Spalte des oberen Weiss-Jurakalkes eine unbedeutende Masse Braunkohlen, welche die Aufmerksamkeit erregte und zu Nachforschungen auch auf der schwäbischen Alb Anlass gab: Graf v. Mandelslohe war in dieser Richtung ausserordentlich tätig. Wirklich wurde an verschiedenen Orten Braunkohle entdeckt; nach mehreren Versuchen fand z. B. Bergmeister Zobel von Ludwigstal im Herbst 1853 bei Wurmlingen OA. Tuttlingen 2020 F. über dem Meer eine kesselförmige Einsenkung, die etwa 30 F. tief mit Braunkohle gefüllt war. Spuren solcher Kohlen, die immer in Ton eingebettet waren, zeigten sich ferner bei Strohweiler, Hülben, Würtingen, Kohlstetten. Von technischer Bedeutung waren diese Funde alle nicht und an den betreffenden Orten ist jetzt nichts mehr zu sehen. Nach Weiger sind diese Braunkohlen wohl ein Absatz

von Süsswasserseen, dessen Alter nicht zu bestimmen ist, doch sind diese Kohlen wohl alle pliocän, also jünger als die an so vielen Punkten des württembergischen Oberlandes vorkommende Braunkohle, welche dem Miocän, besonders dem oberen Miocän zuzuweisen ist. O. Fraas glaubte, dass die Braunkohlenhölzer auf der Alb wuchsen und von Flüssen in das oberschwäbische Becken geführt worden seien; er meinte, ein Versuch am Rande dieses Beckens an der Einmündungsstelle eines alten Flusslaufes könnte kaum fehlschlagen. Im unteren Miocän der Ulmer Umgebung wurden schon in früheren Zeiten kleine Nester von Braunkohlen aufgefunden, und auch an Versuchen, sie bergmännisch zu verfolgen, fehlte es nicht. Am Fusse der Ulmer Ziegelländе fand man 1797 in einem grauen Mergel eine etwa einen Zoll starke, auf 100 F. sich ausdehnende Lage einer blätterig-erdigen Braunkohle. Eine Gesellschaft Ulmer Bürger liess die Sache weiter verfolgen, musste aber das Unternehmen bald wieder aufgegeben. Von diesem Fundort stammt wohl das Stückchen Braunkohle in der Sammlung unseres Realgymnasiums, das die Etikette „Schieferkohle vom Galgenberg“ trägt. Auch schon bälder, 1788, wurde auf der Westseite des Michelsbergs durch Hofrat Stahl ohne praktischen Erfolg nach Kohlen gegraben, vielleicht an derselben Stelle, an welcher 1904 Dietlen Mergel „mit zahlreichen Kohlenbutzen“ fand (vergl. Engel, 3. Aufl. Seite 501). Diese Fundstelle gehört in den Crepidostoma-Horizont des Untermiocäns, ebenso der Platz im Talfinger Wald, an welchem beim Bahnbau ein kleiner Braunkohlenbutzen aufgedeckt wurde.

Im marinen Miocän Württembergs wurden bisher keine Kohlen gefunden, dagegen liegt, nicht allzuweit von unserer Landesgrenze entfernt, das ehemalige Bregenzer Braunkohlenbergwerk (am Stockachberg und im Wirtentobel) in der Austernagelfluh. Im brakischen Miocän von Ober- und Unterkirchberg sind schon öfter kohlige Schichten aus Schilf und Gräsern und eigentliche Braunkohle gefunden worden. Häufiger zeigt sie sich im Obermiocän, teils in unbedeutenden Nestern wie 1908 eine halbe Stunde oberhalb Oberkirchberg (hier mit Nadeln von Eisenvitriol), teils in dünnen Lagen wie bei Heggbach OA. Biberach. Weitere Fundplätze sind: Altheim auf dem Hochsträss, Ravensburg, Wielazhofen und Menelzhofen, wo sie 1827 bergmännisch gewonnen, der Abbau aber wegen Wasser-

zudrangs und wegen schwierigen Absatzes, bald wieder aufgegeben wurde. Jedoch nirgends zeigte sie sich in grösserer Menge wie etwa im bayerischen Tertiär am Rande der Alpen (Miesbach, Penzberg), und nachdem der Bohrversuch von Ochsenhausen resultatlos verlief, dürfen wir wohl keine Hoffnung auf grössere Kohlenflöze haben. Die Blätterkohle (Dysodil) vom Randecker Maar, von der man sich seinerzeit viel versprach und allerlei Leuchtstoffe (Mineralöl, Paraffin, Leuchtgas) aus ihr gewinnen wollte, ist der Menge nach so unbedeutend, dass sie für praktische Zwecke nicht in Betracht kommt.

Zum Schluss sei hier noch einiges aus der Geschichte des Bohrlochs von Ochsenhausen, von welcher nicht viel in die Öffentlichkeit drang, mitgeteilt (nach Miller). Im April 1875 wandte sich der „Oberschwäbische Zweigverein für vaterländische Naturkunde", sowie zahlreiche andere Vereine und Behörden aus Oberschwaben an die Ständekammer mit der Bitte, nach den vielen erfolglosen Bohrversuchen auf Steinkohlen einmal eine Bohrung auf Braunkohlen in Oberschwaben zu unternehmen. Der Regierungskommissär, Bergrat Baur, bekämpfte die Petition, welche aber trotzdem am 30. Juni 1875 von der Kammer der Regierung zur Berücksichtigung empfohlen wurde. Die Sachverständigen bestimmten Ochsenhausen als Versuchsort, am 9. Mai 1876 wurde 1 km südlich vom Kloster der Bohrturm aufgestellt und bald auch mit der Bohrung selbst begonnen. Probst und Miller waren der Ansicht, dass — wenn überhaupt — nur in der unteren Süsswassermolasse Braunkohle zu erwarten sei. Bergrat Baur schätzte nach ihm gewordenen Mitteilungen die Mächtigkeit der oberen Süsswassermolasse auf 100 Fuss und hoffte, mit 300 Fuss den Jura zu erreichen. Am 1. Feb. 1877 trat Miller in einem Zeitungsartikel gegen das Unternehmen auf und bezeichnete Ochsenhausen als ungünstig gewählten Punkt, die Meeresmolasse werde man bestenfalls in 155, schlimmstenfalls in 285 m Bohrtiefe erreichen; nach seiner Ansicht wäre Mochenwangen mit günstigeren Aussichten zu empfehlen, weil man hier vielleicht schon in ganz geringer Tiefe auf die Meeresmolasse stosse. Die Kommission wurde zusammenberufen, sie entschied gegen Miller, es wurde weiter gebohrt. Am 1. Feb. 1881 wurde in der Abgeordnetenkammer Bericht über das Unternehmen erstattet: 500 m tief sei man gekommen und habe noch keine Braunkohle erreicht, man wisse nicht, in welcher

Formation man sich augenblicklich befinde. Die Folge dieses Berichts war, dass die Kammer eine Forderung von weiteren 35,000 Mark ablehnte; nur mit den Restmitteln hat die Regierung die Bohrung noch drei Jahre fortgesetzt bis zu der Tiefe von 736 m. Die Gesamtkosten betrugen etwa 220,000 Mark. Das Bohrloch durchteufte: Obermiocän 259 m, Mittelmiocän (marine Molasse) 206,7 m, Untermiocän 271 m, zusammen 736,7 m. Diese Feststellung verdanken wir Miller. Sie zeigt zugleich, dass seine Abschätzung betr. die Tiefe der Meeresmolasse richtig war, wahrscheinlich erreichte man letztere am 27. Mai 1879 in 259, sicher in 276,3 m Tiefe. An einem anderen Orte, meint Miller, hätte man wohl auch keine Kohle gefunden, aber man hätte einen Punkt wählen können, von dem aus man voraussichtlich die Molasse hätte ganz durchsinken und so wenigstens für die Wissenschaft ein befriedigendes Resultat erzielen können.

Benützte Literatur:

Engel, Geognostischer Wegweiser durch Württemberg. 3. Auflage.

Fraas, E. Das Bohrloch von Sulz. Bericht über die XXIII. Versammlung des Oberrhein. Geologenvereins 1891.

Fraas, O. Die nutzbaren Minerale Württembergs. 1860.

Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, verschiedene Jahrgänge; Vorträge und Abhandlungen von Quenstedt, Kurr, Bauer, Schübler, O. Fraas, Bronner, Eck, Weiger.

Miller, Dr. K. Die Tiefbohrungen in Ochsenhausen in den Jahren 1876 bis 1884. Sonntagsbeilage zum Deutschen Volksblatt, Jahrgang 1899, No. 15.

Oberamtsbeschreibungen der betr. Orte.

Schwäbische Chronik. Das Bohrloch von Sulz. Jahrg. 1890, No. 87.

Staatsanzeiger für Württemberg. Jahrgang 1862. Vortrag von Bergrat Xeller.

Württ. Jahrbücher für vaterländ. Geschichte u.s.w., Jahrgang 1849—51.

Wie lässt sich der Auftrieb und die senkrechte Geschwindigkeit eines Luftschiffs messen?

Vortrag im Verein für Mathematik und Naturwissenschaften in Ulm gehalten am 1. November 1909 von Oberstudienrat Neuffer.

Um das Verständnis der folgenden Untersuchung zu erleichtern, schicken wir ihr einige Grundbegriffe der Mechanik voraus: es sind die Begriffe der gleichförmigen und der ungleichförmigen Bewegung, hauptsächlich aber die Begriffe der Geschwindigkeit und der Beschleunigung.

Wir heissen eine Bewegung gleichförmig, wenn vermöge dieser Bewegung ein Punkt oder ein als Punkt betrachteter Körper in beliebigen gleichen Zeiten, so klein sie auch sein mögen, gleiche Ortsveränderungen erfährt oder gleich grosse Wege zurücklegt; ungleichförmig ist eine Bewegung, bei der diese Bedingung nicht zutrifft.

Es lässt sich aber jede ungleichförmige Bewegung in gleichförmige Bestandteile zerlegen. Denn der in einen „Augenblick“ d. h. in ein Zeitteilchen von unendlich kurzer Dauer fallende Teil einer ungleichförmigen Bewegung kann mit verschwindendem Fehler als gleichförmig betrachtet werden, da ja die Bewegungsweise sich nur allmählich ändert.

Denken wir uns nun diese gleichförmige Augenblicksbewegung während einer ganzen Zeiteinheit, etwa einer Sekunde, fortgesetzt, so erhalten wir für den zurückgelegten Weg eine Grösse, die wir die Geschwindigkeit in jenem Zeitteilchen oder Augenblick nennen. (In Wirklichkeit also braucht jene

gleichförmige Bewegung nicht eine ganze Zeiteinheit anzudauern: sie muss nur als solange dauernd gedacht werden.)

Eine gleichförmige Bewegung hat selbstverständlich unveränderliche, eine ungleichförmige veränderliche Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit kann in gleichen Zeiten gleich grosse Veränderungen erfahren oder nicht. Im ersten Fall heisst die Bewegung gleichmässig beschleunigt, im zweiten ungleichmässig beschleunigt.

Wie die ungleichförmige Bewegung während eines unendlich kleinen Zeitteilchens als gleichförmig, so darf die ungleichmässige Beschleunigung oder Geschwindigkeitsänderung während eines solchen Zeitteilchens als gleichmässig gelten. Diese gleichmässige Augenblicksveränderung in Gedanken während einer Zeiteinheit fortgesetzt wird die Beschleunigung in jenem Zeitteilchen genannt.

Demnach können wir, das Ergebnis der vorstehenden Erörterung zusammenfassend, sagen: Geschwindigkeit im allgemeinen ist eine Ortsveränderung, Beschleunigung im allgemeinen eine Geschwindigkeitsveränderung; Geschwindigkeit in einem bestimmten Augenblick ist die in Gedanken auf die Zeiteinheit (Sekunde) ausgedehnte Ortsveränderung, Beschleunigung in einem bestimmten Augenblick die auf die Zeiteinheit ausgedehnte Geschwindigkeitsänderung jenes Augenblicks.

Mit Hilfe dieser Begriffe nehmen wir nun unsere Untersuchung auf.

Es ist eine allbekannte Tatsache, dass jeder frei bewegliche Körper in der Nähe der Erdoberfläche unter dem Einfluss der „Erdanziehung“ eine nach dem Schwerpunkt der Erde gerichtete Bewegung annimmt. Es ist die Bewegung, die wir als Fallen bezeichnen. Befindet sich ein Körper in einem Augenblick, dem Anfangsaugenblick, in Ruhe und fängt dann zu fallen an, so wird er nach einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 9,81 m haben, d. h. er wird sich so bewegen, dass er in jeder folgenden Sekunde bei ungeänderter Geschwindigkeit 9,81 m zurücklegen würde. In Wirklichkeit aber wird sich die Geschwindigkeit fortwährend ändern und zwar so, dass sie auch in jeder folgenden Sekunde um 9,81 cm zunimmt. Der Körper hat also eine gleichbleibende Geschwindigkeitsänderung oder eine gleichmässige Beschleunigung von 9,81 m in der Sekunde.

Was geschieht nun aber, wenn ein Körper der freien Beweglichkeit ermangelt, wenn er etwa auf einer festen Unterlage aufliegt, die seine Fallbewegung hindert? Hier tritt an die Stelle der nicht zur Verwirklichung gelangenden Fallbewegung ein Druck, den der Körper auf seine Unterlage ausübt. Dieser Druck aber ist nichts anderes als die Kraft, die wir Gewicht des Körpers nennen. Zwischen Gewicht und Fallbewegung besteht demnach ein enger Zusammenhang. Auch das Gewicht hängt von der Fallbeschleunigung ab, von dem Geschwindigkeitszuwachs, den ein Körper beim freien Fall in jeder Sekunde erfährt. Und zwar ist der Zusammenhang zwischen beiden Grössen sehr einfacher Art: sie sind einander proportioniert, es gilt die Gleichung $p = mg$, wobei p die Zahl der Gewichts-, m die Zahl der Masseneinheiten, g die Meterzahl der Fallbeschleunigung 9,81 oder rund 10 bedeutet. Daraus folgt, dass das Gewicht der Körper mit der Grösse der Fallbeschleunigung oder mit dem Werte von g sich ändert, (wobei selbstverständlich die Masse d. h. die Stoffmenge der Körper ungeändert bleibt). Wenn also z. B. festgestellt ist, dass g mit zunehmender geographischer Breite zunimmt, mit zunehmender Meereshöhe abnimmt, so ist daraus zu schliessen, dass die Körper auf den Gipfeln der Berge leichter sind als an ihrem Fuss, in den Äquatorgegenden leichter als in den Polargegenden.

Nun erheben sich aber noch weitere Fragen. Welche Wirkungen treten ein, wenn die Unterlage eines Körpers und mit ihr dieser selbst in die Höhe gehoben oder gesenkt wird? Die Mechanik gibt uns Antwort auch auf diese Fragen. Soll der Körper mit und von seiner Unterlage gehoben werden, so muss diese einen nach oben gehenden Druck auf ihn ausüben. Jeder Druck aber ruft einen gleich grossen Gegendruck hervor. Der Körper wird daher infolge seiner Hebung auf die Unterlage nach unten drücken, also in derselben Richtung wie sein Gewicht; daraus folgt, dass das Gewicht des Körpers bei Eintritt einer Hebung vergrössert wird. Diese Gewichtszunahme ist proportioniert der (auf die Sekunde berechneten) Zunahme der nach oben gerichteten Geschwindigkeit oder der Beschleunigung. Sie verhält sich zum ursprünglichen Gewicht wie die Beschleunigung der nach oben gehenden Bewegung zum (absoluten) Wert der Fallbeschleunigung, oder mit anderen Worten: die Gewichtszunahme ist, da die Meterzahl der Fallbeschleuni-

gung rund 10 beträgt, gleich dem zehnten Teil des Produkts aus dem Gewicht und der Meterzahl der senkrechten Beschleunigung.

Wenn demnach ein Körper, dessen Gewicht 1 kg beträgt, z. B. ein Liter Wasser, aus dem Ruhezustand in eine senkrecht nach oben gerichtete Bewegung versetzt wird, vermöge der in der ersten Sekunde seine Geschwindigkeit gleichmässig von 0 auf 3 m anwächst, so zeigt er während dieser Zeit einen Überschuss über das ursprüngliche Gewicht im Betrag von $\frac{3}{g}$ kg oder rund 0,3 kg. Wächst die Geschwindigkeit in der zweiten Sekunde in gleicher Weise bis 6 m, so wird der Gewichtsüberschuss jetzt nicht etwa 0,6 kg, sondern, wie in der ersten Sekunde, 0,3 kg sein. Denn dieser Überschuss ist ja nicht den Geschwindigkeiten, sondern den Beschleunigungen proportioniert, und diese sind nach unserer Annahme während der ersten und zweiten Sekunde gleich. Würde während der dritten Sekunde die Beschleunigung 2 m betragen, so würde zwar die Geschwindigkeit bis zu 8 m weiterwachsen, der Gewichtsüberschuss in der dritten Sekunde aber nur $\frac{2}{g}$. kg = 0,2 kg betragen. Demnach kann bei grosser Geschwindigkeit der Gewichtszuwachs klein, bei kleiner Geschwindigkeit gross sein, wofür der Grund soeben angegeben wurde.

Beginnt die Unterlage eines Körpers mit diesem sich abwärts zu bewegen, so nimmt der Druck des Körpers auf die Unterlage ab d. h. sein Gewicht wird kleiner. Und zwar gilt hier ein ähnliches Gesetz wie für die aufwärts gerichtete Beschleunigung: die Gewichtsabnahme verhält sich zum ursprünglichen Gewicht wie die abwärts gerichtete Beschleunigung zur Fallbeschleunigung oder sie ist gleich dem zehnten Teil des Produkts aus Beschleunigungszahl und Gewicht. Tritt also z. B. eine Beschleunigung von 3 m ein: so wird ein Gewicht von 1 kg sich um 0,3 kg, also auf 0,7 kg vermindern; diesen Wert wird es beibehalten, solange jene Beschleunigung besteht. Ist die Beschleunigung später 2 m, so wird das Gewicht 0,8 kg sein. Bei einer Beschleunigung von g oder rund 10 m hört der Druck auf die Unterlage auf, bei einer diesen Wert überschreitenden Beschleunigung wird das Gewicht negativ, der Körper trennt sich von seiner Unterlage und übt gegen eine etwa mit dieser fest verbundene Decke einen Druck nach oben aus.

Beide Fälle, der der aufwärts- und der der abwärtsgehenden Beschleunigung, lassen sich zusammenfassen durch Einführung des Gegensatzes von positiv und negativ. Man erhält dadurch eine allgemeine Fassung des Gesetzes, die lautet: ein in senkrechter Bewegung begriffener Körper erfährt in jedem Augenblick eine Gewichtsveränderung, die sich zu seinem Gewicht im Ruhezustand oder im Zustand unveränderlicher Geschwindigkeit verhält wie die augenblickliche Beschleunigung zur Fallbeschleunigung, die also gleich dem zehnten Teil des Produkts aus der Meterzahl der augenblicklichen Beschleunigung und dem Gewicht ist. Von den beiden Richtungen nach oben und nach unten ist die eine als positiv, die andere als negativ einzuführen. Welche als positiv, welche als negativ genommen wird, ist gleichgiltig. Es muss aber die einmal eingeführte Unterscheidung festgehalten werden.

Dieses Gesetz und die in ihm enthaltenen besonderen Gesetze gelten nicht nur für die rein senkrechten Bewegungen, sondern auch für die senkrechten Bestandteile beliebiger Bewegungen.

Es liegt nahe, die Ergebnisse unserer bisherigen Untersuchung auf die Vorgänge in der Gondel eines Luftschiffs anzuwenden. Wir finden dabei folgendes. Steigt das Schiff mit zunehmender Geschwindigkeit, so haben die in der Gondel befindlichen Gegenstände und Personen ein grösseres Gewicht als im Ruhezustand oder bei unveränderlicher Geschwindigkeit. Ist z. B. die Geschwindigkeitszunahme in einem bestimmten Augenblick auf die Sekunde berechnet 2 m, so ist der Gewichtsüberschuss in diesem Augenblick rund 20%: ein Mitfahrender, der unter gewöhnlichen Verhältnissen 160 Pfund wiegt, hat jetzt ein Gewicht von 192 Pfund. Hört die Geschwindigkeitszunahme auf, so wird das Gewicht wieder normal. (Dabei kann die Geschwindigkeit selbst bedeutend sein). Nimmt die aufwärtsgehende Geschwindigkeit ab oder wird ihre Zunahme negativ, so sinken die Gewichte unter ihre normale Grösse, (ohne dass die Bewegung abwärts gehen müsste). Wird die Geschwindigkeitszunahme gleich der Fallbeschleunigung, 10 m nach unten, so wird alles, was in der Gondel ist, gewichtlos, alles wird schweben, ohne einen Druck auf den Boden der Gondel auszuüben. Das sind die Verhältnisse, die beim ungehemmten Sturz

eines Schiffes eintreten. In dem Augenblick sodann, in dem das stürzende Schiff den Erdboden erreicht, hört seine nach unten gehende Geschwindigkeit plötzlich auf; sie wird vernichtet durch eine ebenso plötzlich auftretende grosse Beschleunigung nach oben, die der Druck des Erdbodens verursacht. Die Plötzlichkeit und Heftigkeit dieser Vorgänge ist es, worauf die zerschmetternde Wirkung des Sturzes beruht. Das Schicksal des vor wenigen Monaten verunglückten Luftschiffs La République und seiner Insassen war das Werk solcher plötzlichen und grossen Änderungen von Beschleunigung und Gewicht.

Dass die nach unten gehende Beschleunigung grösser wird als die Fallbeschleunigung, ist ein Fall, der in der Wirklichkeit selten vorkommen wird. In diesem Fall würde das Gewicht des Gondelinhalts negativ, er wird sich vom Boden der Gondel lösen und gegen eine etwa über der Gondel befindliche und mit dieser fest verbundene Decke anstossen und nach oben drücken.

Die Richtigkeit solcher Folgerungen können wir durch Wägungen prüfen. Nur dürfen wir dazu nicht etwa eine Hebelwage benützen wollen. Denn die bei einer solchen zu verwendenden Gewichtssteine ändern ihr Gewicht im gleichen Verhältnis wie die zu wägenden Gegenstände, können also die Gewichtsveränderungen der letzteren nicht anzeigen. Dagegen könnte jeder von Gewichtssteinen unabhängige Wägeapparat, z. B. eine sogenannte Federwage hier Dienste leisten. Wird eine solche, etwa mit einem Kilogrammgewicht belastet, bei einer Luftfahrt mitgenommen, so wird ihr Zeiger mehr oder weniger als 1 kg anzeigen, je nachdem die Geschwindigkeit im Sinne nach oben wächst oder abnimmt, genau 1 kg, solange die Geschwindigkeit sich nicht ändert. Einen beweisenden Versuch kann aber auch jedermann mit Leichtigkeit anstellen, ohne das Zimmer zu verlassen.

Dieser Versuch besteht in folgendem: man hebe eine gewöhnliche Federwage, die mit einem mässig schweren Gewicht belastet ist, möglichst rasch, aber stetig, ohne Stoss in die Höhe. Dann wird der Zeiger eine (je nach der Empfindlichkeit der Wage grössere oder kleinere) Schwingung ausführen: er bewegt sich zuerst aus der normalen Lage Z_0 in der Richtung des grösseren Gewichts, geht sodann nach Erreichung eines grössten Ausschlags Z_1 in entgegengesetzter Richtung zurück über die Normallage Z_2 (Z_0) hinaus bis zu einem zweiten entgegenge-

setzten grössten Ausschlag Z_3 und gelangt endlich von diesem wieder in die Normallage Z_4 (Z_0).

Das muss so sein. Zerlegt man nämlich den von der Wage bei der Hebung zurückgelegten Weg in die vier Teile $A_0 A_1$, $A_1 A_2$, $A_2 A_3$ und $A_3 A_4$, die den vier Viertelsschwingungen des Zeigers $Z_0 Z_1$, $Z_1 Z_2$, $Z_2 Z_3$ und $Z_3 Z_4$ entsprechen, so ergibt sich für die von dem Zeiger angezeigten Gewichtsveränderungen und die Beschleunigungen der Wage folgende Zusammenstellung:

	Gewichtsveränd.			Beschleunig.	
	Z_0	0	A_4	A_0	0
Z_3	Z_0-Z_1	posit. zunehm.	A_3	A_0-A_1	posit. zunehm.
	Z_1-Z_2	posit. abnehm.		A_1-A_2	posit. abnehm.
(Z_4) (Z_2) Z_0	Z_2	0	A_2	A_2	0 (von pos. in negat. überg.)
	Z_2-Z_3	negat. zunehm.	A_1	A_2-A_3	negat. zunehm.
	Z_3-Z_4	negat. abnehm.		A_3-A_4	negat. abnehm.
Z_1	Z_4	0	A_0	A_4	0

Die Zusammenstellung zeigt, dass Gewichtsveränderungen und Geschwindigkeiten einander genau entsprechen.

Hierher gehört auch die Erfahrung, dass ein Körper leichter in der ruhenden Hand zu halten als zu heben ist.

Für die Wägeversuche im Luftschiff bedarf es weder eines besonders feinen Apparats noch besonderer Kunst oder Mühe der Handhabung. Denn die Gewichtsänderungen, um die es sich hier handelt, sind, wie schon festgestellt worden ist, verhältnismässig gross. Sie betragen z. B. für 1 kg bei 1 m Beschleunigung ungefähr 0,1 kg, bei 0,5 m Beschleunigung 0,05 kg u.s.w.: für 2 kg sind die Änderungen das Doppelte u.s.w.

Selbstverständlich ist, dass der Apparat bei einer Luftfahrt in der Gondel nicht aufzustellen, sondern frei beweglich und stabil aufzuhängen ist. Denn das auf der Wage aufliegende Gewicht muss in jedem Augenblick mit seiner vollen Kraft auf die messende Feder drücken.

Wie wir aus den Geschwindigkeitsveränderungen die Gewichtsänderungen ableiten können, so können wir auch umgekehrt aus den Gewichtsänderungen auf die Geschwindigkeitsänderungen oder Beschleunigungen schliessen. Und dieser Schluss ist für die Zwecke der praktischen Luftschiffahrt wohl wichtiger als der erstere.

Lesen wir z. B. in einem bestimmten Augenblick auf der Wage für 1 kg eine Gewichtszunahme von 0.1 kg oder von 10% ab, so ist daraus zu schliessen, dass in demselben Augenblick die senkrechte Geschwindigkeit eine Beschleunigung nach oben erfährt, die 10% der (absoluten) Fallbeschleunigung beträgt oder 1 m auf die Sekunde. Einer Gewichtsverminderung von 10% würde eine nach unten gehende Beschleunigung entsprechen im Betrage von 1 m auf die Sekunde. Ein unverändertes, normales Gewicht endlich würde unveränderte senkrechte Geschwindigkeit (nach oben oder nach unten) anzeigen.

Solche Schlüsse führen von selbst zu der Frage: ist es nicht möglich, einen Apparat herzustellen, der die aus den Gewichtsveränderungen sich ergebenden Beschleunigungen in jedem Augenblick selbsttätig aufzeichnet? Ich glaube, dass diese Frage zu bejahen ist und dass sie einem geschickten Mechaniker keine zu schwierige Aufgabe stellt.

Ein Apparat zu dem angegebenen Zweck müsste folgende wesentliche Bestandteile haben:

1) eine Wage nach Art der Federwage;
2) ein auf die Wage aufzulegendes oder auch fest mit ihr zu verbindendes Gewicht, das je nach der Empfindlichkeit der Feder grösser oder kleiner sein kann;
3) einen mit dem beweglichen Ende der Feder verbundenen wagrecht stehenden Zeichenstift;
4) einen Kreiszylinder mit senkrechter Achse, um diese drehbar;
5) einen auf dem Zylinder aufgewickelten Papierstreifen;
6) ein Uhrwerk, das den Zylinder mit dem Papierstreifen gleichmässig um seine Achse dreht.

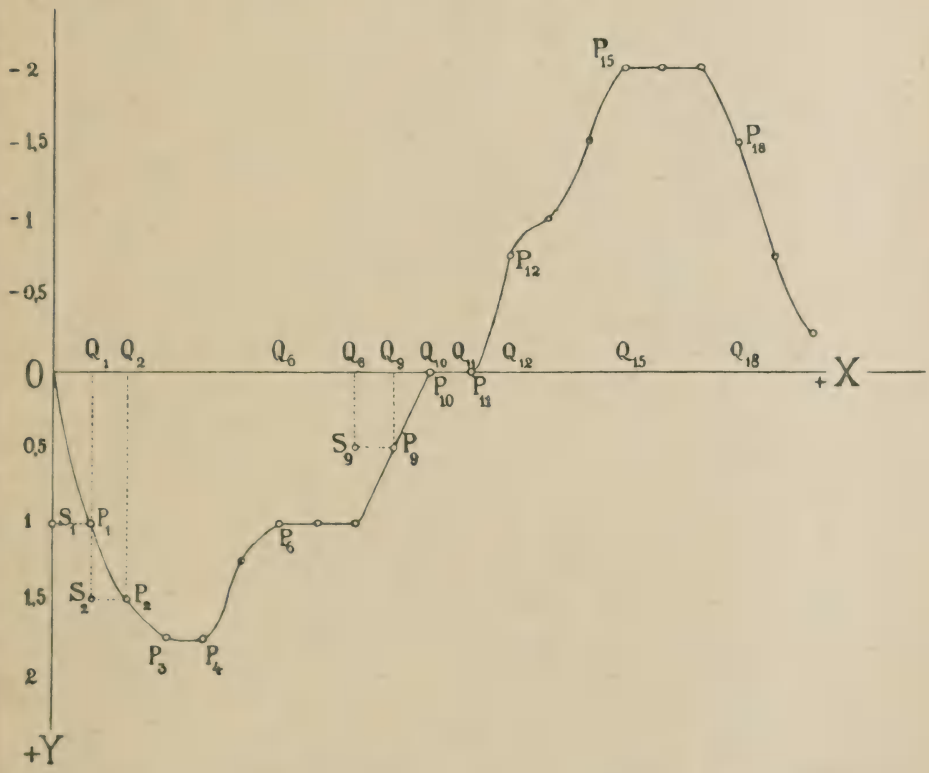
Der Stift kann unmittelbar oder durch einen besonderen Mechanismus mit der Feder verbunden sein und die Bewegungen der letzteren unverändert oder vergrössert wiedergeben. Jedenfalls aber muss er so befestigt sein, dass er mit seiner Spitze leicht auf den Papierstreifen drückt. Dieser wird entweder bei der Drehung des Zylinders abgewickelt und auf einen ebenfalls senkrecht gestellten und um seine Achse sich drehenden zweiten Zylinder aufgerollt oder, ohne sich von seinem Zylinder zu lösen, nach jeder ganzen Umdrehung durch einen Mechanismus um eine bestimmte Grösse gehoben oder gesenkt, so dass da-

durch eine tiefere oder höhere Schicht des Streifens dem Stift gegenübertritt.

Auch im vorliegenden Fall ist selbstverständlich der Apparat in der Gondel nicht aufzustellen, sondern frei beweglich und stabil aufzuhängen.

Befindet sich nun das Luftschiff in Bewegung, so wird bei wechselnder senkrechter Beschleunigung der Stift infolge der Verkürzungen und Verlängerungen der Feder seine Höhenlage in verschiedener Weise ändern und dabei auf den vor ihm vorüberziehenden Papierstreifen eine Kurve zeichnen, die bald steigen bald sich senken bald wagrecht verlaufen wird.

Den möglichen Verlauf einer solchen Kurve in einem ihrer Teile möge die nachstehende Figur darstellen.



Die Kurve ist auf zwei Koordinatenachsen OX und OY bezogen. Auf der Abszissenachse OX sind Strecken abgetragen, die den Zeiten entsprechen, es bedeuten OQ_1, OQ_2 u. s. w. 1, 2

u. s. w. Sekunden. Die Ordinaten Q_1P_1, Q_2P_2 u. s. w. sind die zu OQ_1, OQ_2 u. s. w. gehörigen Beschleunigungen, deren positive oder negative Beträge in Metern auf der Ordinatenachse OY abgelesen werden können.

Die Kurve lässt nun erkennen, dass im Anfangsaugenblick die Beschleunigung gleich Null ist, dass sie in der ersten Sekunde bis 1 m anwächst, am Schluss der zweiten 1,5, am Schluss der dritten 1,75 m beträgt, während der vierten Sekunde diese Grösse beibehält, dann während der zwei folgenden Sekunden bis 1 m abnimmt u. s. w. Sie sinkt auf Null am Ende der zehnten Sekunde und behält diesen Wert während der elften Sekunde bei, um dann negativ zu werden. Die steilen Stellen der Kurve zeigen rasche, die wenig steilen langsame Veränderungen der Beschleunigung, die wagrechten unveränderliche Beschleunigung an. Fällt eine solche wagrechte Stelle in die X-achse, so ist die Beschleunigung Null, die Bewegung gleichförmig.

Mit der Beschleunigung hängt nun aufs engste eine Grösse zusammen, die für den Luftschiffer wohl noch wichtiger ist als jene, der Auftrieb d. h. der nach oben gerichtete Überdruck der Luft auf das Schiff, (wozu bei Motorschiffen noch die hebende Kraft des Motors treten kann). Der Auftrieb leistet zweierlei: er trägt das Gewicht des Luftschiffs (samt Ladung) und erteilt ihm seine senkrechte Beschleunigung, (die positiv oder negativ sein kann); er ist also gleich der Summe von Gewicht und beschleunigender Kraft. Die letztere aber hat ihr Mass in der Gewichtsveränderung des Schiffs und ist daher, wie schon gezeigt wurde, gleich dem zehnten Teil des Produkts aus der Meterzahl der augenblicklichen Beschleunigung und dem Gewicht. Addieren wir diese Grösse zum normalen Gewicht des Schiffs, so erhalten wir den Auftrieb.

Unter Anwendung dieser Regel können wir von unserer Kurve leicht auch den in jedem Augenblick wirkenden Auftrieb ablesen. Wir erhalten z. B. bei einem Schiffsgewicht von 10 000 kg für das Ende der ersten Sekunde den Auftrieb 10 000 kg + 0,1 · 10 000 kg = 11 000 kg, für das Ende der zehnten Sekunde 10 000 kg + 0 kg = 10 000 kg, für das Ende der fünfzehnten Sekunde 10 000 kg — 0,2 · 10 000 kg = 8000 kg.

Der Auftrieb des Luftschiffs bleibt (nahezu) unverändert, wenn Ballast ausgeworfen wird; dagegen ändern sich die beiden Grössen, als deren unveränderliche Summe der Auftrieb

betrachtet werden kann: die Kraft, die zum Tragen des Schiffsgewichts notwendig ist, und die beschleunigende Kraft. Die erstere vermindert sich, weil das zu tragende Gesamtgewicht abnimmt, die letztere wächst wegen der Verminderung der ersteren. Dadurch wird ein Beschleunigungszuwachs erzeugt, der sich in folgender Weise bestimmen lässt.

P sei das ursprüngliche Gesammtgewicht des Schiffs, p das Gewicht des ausgeworfenen Ballasts, q die Meterzahl der ursprünglichen senkrechten Beschleunigung, Δq die Meterzahl des Beschleunigungszuwachses, dann ist der Auftrieb vor dem Auswerfen des Ballastes durch $P+P\cdot\frac{q}{g}$, der Auftrieb nach dem Ballastauswerfen durch $P-p+(P-p)\cdot\frac{q+\Delta q}{g}$ dargestellt, also ist $P-p+(P-p)\cdot\frac{q+\Delta q}{g}=P+P\cdot\frac{q}{g}$, woraus $\Delta q=\frac{p\,(g+q)}{P-p}$ sich ergibt.*)

Werden also z. B. aus einem Luftschiff von 10000 kg Gewicht bei einer augenblicklichen Beschleunigung vom Werte Null 100 kg ausgeworfen, so ist der Beschleunigungszuwachs $\frac{100\cdot 10}{10000-100}\,m=0{,}1\,m$; werden 500 kg ausgeworfen, so ist der Zuwachs $\frac{500\cdot 10}{10000-500}\,m=0{,}53\,m$; bei 1000 kg beträgt der Zuwachs $\frac{1000\cdot 10}{10000-1000}\,m=1{,}11\,m$. Für $q=1$ treten an die Stelle der vorstehenden Werte des Beschleunigungszuwachses die Werte 0,11 m, 0,58 m und 1,22 m.

Auch bei ziemlich bedeutender Gewichtsabgabe nimmt demnach die senkrechte Beschleunigung eines grossen Luftschiffs nur um eine mässige Grösse zu.

*) Durch Ballastabgabe wird der Gesamtraum des Luftschiffs und damit auch der Gesamtauftrieb um eine oben nicht berücksichtigte geringfügige Grösse vermindert. Führt man diese in die Rechnung ein, so erhält man

$$\Delta q=\frac{p\,(g+q)-\lambda g}{P-p},$$

wobei λ die Auftriebsverminderung bezeichnet.

Ist p im Verhältnis zu P und q im Verhältnis zu g sehr klein, so gilt annähernd

$$\Delta q=\frac{pg}{P}.$$

Unsere Kurve legt uns aber noch eine weitere Frage nahe. Ihre Ordinaten stellen die senkrechten Beschleunigungen d. h. die Änderungen der senkrechten Geschwindigkeit dar. Sollte es nun nicht möglich sein, mit Hilfe der Ordinaten auch die Geschwindigkeit selbst zu bestimmen? Eine einfache Erwägung lässt uns diese Frage bejahen.

Setzt man voraus, dass die Geschwindigkeit im Anfangsaugenblick gleich Null ist, so wächst sie in der ersten Sekunde auf Q_1P_1 oder 1 m an; dazu kommt in der zweiten Sekunde noch ein weiterer Zuwachs Q_2P_2 von der Grösse 1,5 m; somit beträgt die Geschwindigkeit am Ende der zweiten Sekunde (1+1,5) m oder 2,5 m. Nach sechs Sekunden ist die Geschwindigkeit gleich $Q_1P_1+Q_2P_2+\cdots+Q_6P_6$ oder gleich

$$(1+1{,}5+1{,}75+1{,}75+1{,}25+1)\text{ m} = 8{,}25\text{ m}.$$

Da mit Beginn der zwölften Sekunde die Beschleunigungen negativ werden, nimmt von diesem Zeitpunkt an die Geschwindigkeit ab. Während die Geschwindigkeit am Schluss der elften Sekunde, wie leicht zu finden ist, 10,75 m beträgt, ist sie am Schluss der fünfzehnten Sekunde gleich (10,75—0,75—1—1,5—2) m = 5,5 m, am Schluss der achtzehnten Sekunde gleich (5,5—2—2—1,5) m = 0: das Fahrzeug schwebt einen Augenblick, ohne seine Höhe zu ändern; im nächsten Augenblick aber beginnt es zu sinken.

Als allgemeines Ergebnis der vorstehenden Betrachtung lässt sich der Satz aussprechen: die senkrechte Geschwindigkeit in einem bestimmten Augenblick ist gleich der Summe der vorangegangenen Geschwindigkeitsveränderungen oder Beschleunigungen gerechnet von einem Augenblick an, in dem die senkrechte Geschwindigkeit Null ist.

Aber noch ein anderes Verfahren zur Bestimmung der augenblicklichen Geschwindigkeit lässt sich aus unserer Kurve ableiten.

Zu einem bestimmten Augenblick z. B. zum Ende der neunten Sekunde gehört eine bestimmte senkrechte Geschwindigkeit v_9, ferner die Ordinate Q_9P_9, die Abscisse OQ_9 und der Kurvenbogen $OP_1\cdots P_9$. Von den letzteren drei Linien wird ein Flächenstück $OQ_9P_9\cdots P_1O$ oder F_9 eingeschlossen, (von dem wir auch sagen können, es werde von der beweglichen Ordinate der Kurve in den ersten neun Sekunden beschrieben). Zwi-

schen diesem Flächenstück F_9 und jener Geschwindigkeit v_9 besteht nun ein einfacher Zusammenhang. Ergänzt man die Flächenstücke OQ_1P_1, $Q_1Q_2P_2P_1 \cdots Q_8Q_9P_9P_8$ zu den Rechtecken $OQ_1P_1S_1$, $Q_1Q_2P_2S_2 \cdots Q_8Q_9P_9S_9$, so ist die Summe dieser Rechtecke annähernd gleich F_9. Die Annäherung ist um so grösser, je schmäler die Rechtecke sind d. h. je kleiner die gewählte Zeiteinheit ist. Da die in der Abszissenachse liegenden Rechteckseiten OQ_1, $Q_1Q_2 \cdots$, Q_8Q_9 gleich sind, ist die Summe der Rechtecke gleich OQ_1. $(Q_1P_1+Q_2P_2+ \cdots +Q_9P_9) = OQ_1 \cdot v_9$ = annähernd F_9, woraus v_9 = annähernd $\frac{F_9}{OQ_1}$, also annähernd proportioniert F_9. In Wirklichkeit ist die Annäherung unbegrenzt, die Proportionalität genau, wie die Differential- und Integralrechnung zeigt.*) Es kann also, da der soeben durchlaufene Gedankengang allgemeine Geltung hat, die bis zu einem beliebigen Augenblick von der Ordinate beschriebene Fläche als Mass der Geschwindigkeit jenes Augenblicks dienen.

Dabei ist zu beachten, dass die oberhalb der Abszissenachse liegenden Flächenstücke negativen Charakter haben. Es gehört daher z. B. zur Ordinate $Q_{12}P_{12}$ ein kleineres Flächenstück und somit auch eine kleinere Geschwindigkeit als zu $Q_{11}P_{11}$.

Das Verhältnis der Zahlenwerte von Geschwindigkeit und Fläche ist in der vorliegenden Figur 4:1, weil die Strecken, die hier die Längeneinheit und die Zeiteinheit darstellen, dieses Verhältnis haben. Wären jene beiden Einheiten durch gleich grosse Strecken dargestellt, so hätten Geschwindigkeit und Fläche gleiche Zahlenwerte.

Unser Apparat lässt somit für jeden Augenblick nicht nur die senkrechte Beschleunigung und den Auftrieb, sondern auch die senkrechte Geschwindigkeit

*) Ist die Zeit vom Anfangsaugenblick bis zu einem bestimmten Augenblick t, die Geschwindigkeit in diesem Augenblick v, die Beschleunigung k . f (t), die zugehörige Fläche F, die Anfangsgeschwindigkeit Null, so gilt

$$dv = k \,.\, f\,(t) \,.\, dt$$

$$v = k \,.\, \int_0^t f\,(t) \,.\, dt$$

$$= k \,.\, F.$$

Es besteht also vollständige, nicht bloss annähernde Gleichheit zwischen v und k . F. Für k=1 ist v=F.

bestimmen. Allerdings vollzieht sich letzteres nicht gleich rasch und einfach wie ersteres, wenn die Ergebnisse genau sein sollen. Denn die Flächengrössen lassen sich nicht so rasch genau ablesen wie die Ordinaten. Genügt aber eine annähernde Genauigkeit, so kommt man auch bei Geschwindigkeitsbestimmungen rasch zum Ziel durch Abschätzungen.

Es wäre aber wohl nicht sehr schwierig, einen besonderen Mechanismus zu ersinnen, der die Geschwindigkeiten selbsttätig angäbe. Man kann sich z. B. denken, dass ein vor einem Zifferblatt sich drehender Zeiger mit den die Punkte der Figur P_1, P_2 u.s.w. enthaltenden Parallelen zur Y-achse so in Verbindung gebracht wird, dass er, so oft eine Parallele vor dem Zeichenstift vorübergeht, eine der entsprechenden Ordinate proportionale Bewegung ausführt. Der Zeiger ginge vorwärts bei positiven, rückwärts bei negativen Ordinaten. Für jeden Augenblick gäbe er die gerade vorhandene aufwärts oder abwärts gerichtete senkrechte Geschwindigkeit an.

Dass man in Fortsetzung des bisherigen Gedankengangs zu einem Verfahren gelangen könnte, das für jeden Augenblick die Höhe des Luftschiffs berechnen lässt, möge nur angedeutet werden. Wie die Summierung der Beschleunigungen zur Geschwindigkeit führt, so führt die Summierung der Geschwindigkeiten zur Weggrösse oder zur Höhe.*) Ein Apparat aber, der die Geschwindigkeiten summiert, hätte als Höhenmessapparat vor dem gewöhnlich benützten Barometer den Vorzug, von den Ungleichmässigkeiten in der Verteilung des Luftdrucks unabhängig zu sein.

Wie der im vorstehenden beschriebene Apparat senkrechte Beschleunigungen und Geschwindigkeiten mit Hilfe von Gewichtsveränderungen bestimmen lässt, so können auch zur Bestimmung wagrechter Geschwindigkeiten Gewichtsveränderungen benützt werden. Aber es sind in diesem Fall Gewichtsveränderungen ganz anderer Art als im ersteren, nämlich solche, die durch die Achsendrehung der Erde, (aber nicht vermittelst der „Zentri-

*) Ist v die senkrechte Geschwindigkeit in einem beliebigen Augenblick, h die Höhe im gleichen Augenblick, dt eine unendlich kleine Zeitgrösse, so erhält man unter Anwendung der Differential- und Integralrechnung

$$dh = v\,dt$$

$$h = \int_0^t v\,.\,dt.$$

fugalkraft"), verursacht werden. Der Gedanke eines Apparats, der auf diesen Gewichtsveränderungen beruht, (der aber zunächst dem Nachweis der Erdumdrehung dient), ist in den Jahresheften des Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften in Ulm, Jahrgang 1897, S. 116 ff. entwickelt. Die technische Ausführung des letzteren Gedankens wird aber grösseren Schwierigkeiten begegnen, als die Herstellung der oben beschriebenen Apparate.

Beiträge zur Ulmer Flora.

Von Prof. **A. Haug.**

I. Irrgäste, die schon früher in unserer Gegend beobachtet wurden:

Melilotus parviflorus Desf. Der kleinblütige Steinklee.

Melilotus caeruleus Lam. Das Schabziegerkraut.

Beide Arten 1908 u. 09 in einem Spargelfeld am Kuhberg.

Centaurea solstitialis L. Sonnenwende-Flockenblume.

1908 u. 09 beim Stuttgarter Tor.

Nonnea pulla DC. Schwarze Ochsenzunge.

1908 auf Schutt im Örlinger Tal.

II. Pflanzen, welche — soviel mir bekannt — zum erstenmal hier gefunden wurden:

Ranunculus reptans L. Uferranunkel.

1908 Dürrfelden bei Roggenburg.

Glaucium corniculatum Curt. Der rote Hornmohn.

1909 auf Schutt zwischen Ulm und Söflingen. (Diese Ackerpflanze wird anderwärts auch in Gärten gezogen, hier angeblich nicht).

Arabis Gerardi Besser. Gerard's Gänsekraut.

1909 am Landgraben bei Finningen (von einem Schüler gefunden).

Sisymbrium austriacum Jacq. Österreichische Rauke.

1909 am Blauring (Finder Herr Lehrer Mangold) und beim Wasserwerk im Donautal.

Xanthium spinosum L. Dornige Spitzklette.

1907 u. 08 auf Schutt im Örlinger Tal (Mangold).

Salvia glutinosa L. Klebriger Salbei.

1908 im Tannenwald oberhalb Oberkirchberg (Herr Prof. Kleinfelder).

Lycopodium annotinum L. Sprossender Bärlapp.

1909 im Gögglinger Wald.

Mitteilungen

des

Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften

in

ULM a. D.

Fünfzehntes Heft.

INHALT.

Chronik:

Seite

1. Professor Claus † III
2. Versammlungen in den Jahren 1910 und 1911 V
3. Mitgliederverzeichnis IX
4. Ausschuss in den Jahren 1910 und 1911 X

Wissenschaftliche Mitteilungen:

1. Zahlwörter und Zahlzeichen bei den wichtigsten Kulturvölkern. Von Professor Dr. E. Löffler in Hall 1
2. Über die Entstehung und Ausbreitung unserer Ziffern. Von Professor Dr. E. Löffler in Hall 41
3. Wie lassen sich mit möglichst wenig Ziffern möglichst grosse Zahlen darstellen? Von Oberstudienrat Neuffer 60
4. Über die Lösung der Preisaufgabe: „Auf wie viele verschiedene Arten kann in deutschen Münzen ein Taler gewechselt werden?“ Von Professor Sauter 72
5. Über Schwerkraftmessungen. Von Professor R. Weller 90

Chronik.

Professor Claus †.

Das letzte Jahr hat dem Verein einen schmerzlichen Verlust gebracht durch das Hinscheiden des Professors Claus, der am 11. Juli 1911 einem mehrmonatlichen schweren Leiden erlag.

Seit Herbst 1903 hat Professor Claus den Posten des ersten Schriftführers des Vereins bekleidet und dieses arbeitsvolle Amt mit ebensoviel Fleiss und Treue wie Verständnis und Geschick verwaltet.

Nicht minder aber hat er als einfaches Mitglied sich um den Verein wohlverdient gemacht. Auf den Gebieten der Erdkunde und der Naturbeschreibung besass er ein ausgebreitetes und gründliches Wissen wie wenige. So durfte der Verein zahlreiche Vorträge von ihm hören, in denen er Gegenstände aus jenen Gebieten behandelte. Aus dem Vollen schöpfend, nur Interessantes bietend, seinen Stoff sicher beherrschend und frei gestaltend hat er mit seinem schlichten Wort die Zuhörer immer gefesselt. Ebenso sind ihm wertvolle Beiträge für die gedruckten Mitteilungen des Vereins zu verdanken.

Seine ernste Lebens- und Berufsauffassung ruhte auf tiefem religiösem Grund und feste Grundsätze haben sein Urteilen und Handeln geleitet. Wie ein frommer evangelischer Christ, so ist er auch ein guter Deutscher gewesen.

Im Kreise des Vereins wird dem charaktervollen, tüchtigen und verdienten Manne ein dankbares und treues Andenken bewahrt bleiben.

Vereinsversammlungen in den Jahren 1910 und 1911.

Am 10. Januar 1910.

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Löffler über „Zahlen und Ziffern im Lichte der Kulturgeschichte".

Am 24. Januar 1910.

Stiftungsfest. Der 2te Vorsitzende gibt einen kurzen Ueberblick über die Vereinstätigkeit in den letzten zwei Jahren. — Rechnungsablegung und Entlastung für den Rechner. — Neuwahl des Ausschusses.

Am 14. Februar 1910.

Professor Claus gibt einige Ergänzungen zu einem früheren Vortrag von Professor Sauter über elektrische Pflanzenkultur.

Ingenieur Renz zeigt einige Instrumente zur Messung hoher Temperaturen vor.

Professor Claus macht weiterhin Mitteilungen über die Verbreitung der Schwindsucht im Kapland.

Am 28. Februar 1910.

Vortrag von Professor Weller über „Internationale Erdmessung."

Am 11. April 1910.

Demonstrationsvortrag von Dr. med. Assfalg über „Die Bedeutung der Röntgenstrahlen für die Erkennung von Krankheiten."

Am 25. April 1910.

Vortrag von Dr. med. Krauss über den „Halleyschen Kometen"; anschliessend machten verschiedene Mitglieder Mitteilungen über astronomische Fragen.

Am 17. Oktober 1910.

Der 2te Vorsitzende hält dem im Sommer verstorbenen Mitglied Baurat Haas einen Nachruf.

Vortrag von Professor Claus über „Die wichtigste Forschungsreise der letzten Jahrzehnte".

Am 7. November 1910.

Professor Haug zeigt eine Anzahl von Pflanzen vor, die in der Ulmer Gegend gefunden wurden, aber hier nicht einheimisch sind.

Vortrag von Ingenieur Renz über „Metallurgie".

Am 28. November 1910.

Vortrag von Oberstudienrat Neuffer über „Eine grosse Zahl". Im Anschluss daran berichten Oberreallehrer Dr. Löffler und Professor Sauter über das Auftreten grosser Zahlen bei verschiedenen Völkern.

Am 12. Dezember 1910.

Die Versammlung gibt ihre Zustimmung zu einem Vertrag zwischen der Stadtverwaltung und dem Verein, wonach die Vereinsbibliothek unter Wahrung der Eigentumsrechte des Vereins in die Verwaltung der Stadtbibliothek übergeht.

Vortrag von Ingenieur Renz über „Feuerungen und Feuerungsuntersuchungen."

Demonstrationsvortrag von Kaufmann Bracher über „Neuere Errungenschaften auf dem Gebiet der Farbenphotographie".

Am 9. Januar 1911.

Vortrag von Professor Claus über „Meeres- und Luftströmungen".

Am 23. Januar 1911.

Rechnungsablegung und Entlastung des Rechners. Bericht des Bibliothekars. Der seitherige Ausschuss wird durch Zuruf wiedergewählt.

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Löffler über das Thema: „Was sind und was bedeuten die Zahlen?"

Am 13. Februar 1911.

Demonstrationsvortrag von Oberreallehrer Dr. Löffler über „Rechenmaschinen".

Professor Claus macht einige ergänzende Mitteilungen zu seinem Vortrag vom 17. Oktober 1910, berichtet über die Untersuchung von Kameruner Negern auf Malaria und über das Murmeltier, das als Träger der Pestmikroben anzusehen ist.

Professor Haug zeigt und erläutert eine sogen. brasilianische Holzrose.

Am 13. März 1911.

Vortrag von Professor Weller über „Kleinarbeit in den exakten Wissenschaften."

Am 10. April 1911.

Vortrag von Professor Haug über „Neuere geologische Funde aus dem Tertiär der Ulmer Gegend".

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Löffler über „Robert Wilhelm Bunsen" (geb. am 31. März 1811.)

Am 9. Oktober 1911.

Oberstudienrat Neuffer hält dem im Juli verstorbenen Mitglied und 1. Schriftführer Professor Claus einen Nachruf. Der 2. Schriftführer Oberreallehrer Dr. Löffler wird zum Professor nach Hall ernannt. Die neuen Schriftführer sind Oberreallehrer Dr. Oberdorfer und Professor Weller.

Vortrag von Dr. med. Krauss über „die Krebskrankheit und ihre Bekämpfung".

Am 23. Oktober 1911.

Vortrag von Professor Haug über: „Weiss-Jura ε der Ulmer Gegend".

Dr. Oberdorfer berichtet über ein neues Vorkommen von marinem Tertiär bei Temmenhausen.

Am 13. November 1911.

Vortrag von Professor Sauter über: „Auf wie vielerlei Arten kann man in deutschen Reichsmünzen einen Taler wechseln?"

Am 27. November 1911.

Vortrag von Dr. Oberdorfer über „Erdbeben".

Vortrag von Professor Weller über „Erdbebenmessungen".

Am 11. Dezember 1911.

Vortrag von Oberreallehrer Dr. Wundt über „Temperatur und Zusammensetzung der höheren Atmosphärenschichten".

Mitglieder-Verzeichnis.

1. Angele, Baurat.
2. Dr. med. Assfalg.
3. Bracher, Kaufmann.
4. Braun, Oberbaurat.
5. Brost, Professor.
6. Bruckmann, Apotheker.
7. Dr. Buhl, Stabsarzt.
8. Dr. v. Burk, Generalarzt.
9. Daigeler, Direktor.
10. Dieterlen, Professor, Ehrenm.
11. Ebner, Redakteur.
12. Dr. med. Fischer.
13. Frank, Oberforstrat a. D.
14. Gottschick, Mechaniker.
15. Hahn, Leutnant.
16. Haug, Professor.
17. Hausch, Privatier.
18. Dr. med. Hecht.
19. v. Heider, Landgerichtsdirektor.
20. Dr. Höhn, Buchdruckereibesitzer.
21. Hölder, Hauptmann.
22. Hörz, Turmuhrenfabrikant.
23. Hosch, Professor.
24. Dr. Jäger, Medizinalrat.
25. Dr. Kauffmann, Augenarzt.
26. Kienzle, Architekt.
27. Kleiner, Ingenieur.
28. Kleinfelder, Professor.
29. Dr. med. Klemm.
30. Dr. med. Krauss.
31. Dr. Leube, Apotheker, Ehrenmgl.
32. Leube, O., Fabrikant.
33. Dr. med. Liebert.
34. Lusser, Professor.
35. Magirus, O., Fabrikant.
36. Magirus, Rektor.
37. Dr. Majer, Sanitätsrat.
38. Mangold, Lehrer.
39. Markel, Intendanturrat.
40. Marmein, Professor.
41. Dr. med. Mendler.
42. Messer, Feuerwerkshauptmann.
43. Neuffer, Oberstudienrat.
44. Dr. Oberdorfer, Oberreallehrer.
45. Dr. med. Palm.
46. Pfeilsticker, Oberregierungsrat, Ehrenmitglied.
47. Pflüger, Präzeptor.
48. Reichardt, Direktor.
49. Renz, Ingenieur.
50. Romann, Stadtbaurat.
51. Dr. Rössle, Stadttierarzt.
52. Salvisberg, Leutnant.
53. Sartorius, Leutnant.
54. Sauter, Professor.
55. Dr. Schall, Apotheker.
56. Schefold, Oberstleutnant.
57. Schimpf, Oberbaurat.
58. Schrader, Bauinspektor.
59. Dr. Schuon, Oberstabsarzt.
60. Schwenk, Kommerzienrat.
61. Siegeneger, Regierungsrat.
62. Dr. Sing, Stadtarzt.
63. Dr. Spohn, Gerhausen-Blaubeuren
64. Völter, Leutnant.
65. v. Wagner, Oberbürgermeister.
66. Wechssler, Privatier.
67. Weisheit, Bankier.
68. Dr. Wulle, Apotheker.
69. Weller, Professor.
70. Dr. Wundt, Oberreallehrer.
71. Dr. med. Ziegler.

Gestorben: Baurat Haas.
Professor Claus.

Ausschuss in den Jahren 1910 und 1911.

I. Vorsitzender:	Oberstudienrat Neuffer.
II. Vorsitzender:	Dr. med. Krauss.
I. Schriftführer:	Bis Juli 1911: Professor Claus, später: Oberreallehrer Dr. Oberdorfer.
II. Schriftführer:	Bis September 1911: Oberreallehrer Dr. Löffler, später: Professor Weller.
Biblothekar:	Professor Haug.
Rechner:	Präzeptor Pflüger.

Zahlwörter und Zahlzeichen bei den wichtigsten Kulturvölkern.[1]

Vortrag von Professor Dr. **Eugen Löffler** in Hall.[2])

Seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hat die Wissenschaft eine bemerkenswerte Wandlung durchgemacht; sie ist exakter geworden, d. h. sie sucht ihre Gegenstände nicht mehr bloss durch Beobachtung und Ueberlegung, sondern auch durch Messung und Rechnung dem Verständnis näher zu bringen; sie gibt sich nicht mehr mit der qualitativen Untersuchung der Erscheinungen zufrieden, sondern sie sucht stets nach einer quantitativen, zahlenmässigen Beziehung. So ist denn die Zahl zu einem der wichtigsten Begriffe unserer Zeit geworden, zu einem Begriff, der weit über den engen Kreis der Mathematiker hinaus eine Bedeutung erlangt hat, und der in Handel und Industrie, in Wissenschaft und Technik, im täglichen Leben aller Menschen die grösste Rolle spielt.

Obgleich wir täglich und stündlich mit diesem Begriff operieren, würden wir auf die grössten Schwierigkeiten stossen, wenn wir diesen Begriff der Anzahl einer Menge von vorgestellten Dingen psychologisch entwickeln wollten, und die Schwierigkeiten häufen sich, wenn wir uns nicht auf ganze Zahlen beschränken, sondern auch gebrochene oder gar negative Zahlen zulassen. Dazu kommt noch ein ganz eigentümlicher Umstand, der sich bei keinem anderen Begriff wiederfindet: wir meinen die merkwürdigen, fremdartigen Zeichen, die wir mit diesem Begriff verbinden, und die wir Ziffern nennen. Die Sätze $5 + 7 = 12$ und „fünf und sieben gibt zwölf" lösen in unserem Bewusstsein dieselben Vorstellungen aus und sind doch grundverschieden. Der

[1]) Dieser Vortrag erschien in gekürzter Form auch in den *Südwestdeutschen Schulblättern* Jahrgang XXVII (1910) S. 299—319.

[2]) Früher Oberreallehrer am Gymnasium in Ulm.

erste ist in einer Begriffsschrift, der zweite in einer Lautschrift geschrieben; den ersten verstehen alle Kulturvölker, den zweiten nur diejenigen Menschen, die der deutschen Sprache mächtig sind. Damit mag die psychologisch merkwürdige Tatsache zusammenhängen, dass das Zählen, Rechnen und Zahlenlesen in einer fremden Sprache so schwer ist und von vielen Menschen nie erlernt wird. Was haben aber die Zahlen vor den anderen Begriffen unseres Geistes voraus, dass man für sie eine besondere, auf ganz anderen Prinzipien aufgebaute Schrift besitzt?

Bei der Beantwortung dieser und ähnlicher Fragen, die bei der Selbstverständlichkeit, mit der wir das Alltägliche zu behandeln pflegen, von den meisten Menschen gar nicht als Probleme empfunden werden, sind Mathematiker, Philologen und Philosophen in gleicher Weise interessiert. Eine Untersuchung über die allmähliche Entwicklung der Zahlwörter und Zahlzeichen bei den verschiedenen Völkern scheint uns ein wichtiger Schritt zur Lösung jener Fragen zu sein, und so mögen im folgenden einige hervorstechende Resultate solcher Untersuchungen mitgeteilt werden.

Die tatsächlichen Kenntnisse über Zahlen und Ziffern, die wir aus dem Studium alter Bauten und Denkmäler schöpfen können, reichen kaum über das vierte Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung hinaus; die ältesten Bruchstücke mathematischer Werke stammen aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. Aber diese Bruchstücke des mathematischen Wissens der Aegypter und Babylonier sind nur die Endglieder einer langen Entwicklungsreihe, und die majestätischen Pyramiden der Aegypter, die unscheinbaren Tontäfelchen[1]) aus dem 3. vorchristlichen Jahrtausend, die im Tale des Euphrat gefunden wurden, und auf denen manche Erkenntnisse der Zahlentheorie eingeritzt sind, weisen unser geistiges Auge zurück in nebelhafte Fernen. Es ist wahrscheinlich, dass schon in den allerersten Zeiten der geistigen Ent-

[1]) Vgl. R. Lepsius, Die babylonisch-assyrischen Längenmasse nach der Tafel von Senkereh. Abhandl. der Berliner Akademie 1877, phil. hist. Klasse S. 105, und H. V. Hilprecht, Mathematical, Metrological and Chronological tablets from the Temple Library of Nippur in „The Babylonian Expedition of the University of Pennsylvania." Series A. Vol. XX, Part. I. Philadelphia 1906.

wicklung des Menschengeschlechts mehr oder minder klare Vorstellungen von der Zahl und der Grösse vorhanden waren, und dass die Entstehung des Zahlbegriffs weit vor dem Beginn der Sprachenbildung liegt: denn auch das Tier besitzt eine Vorstellung von der Anzahl seiner Jungen und merkt, wenn ihm eines fehlt. Die erste mathematische Tätigkeit, die der Mensch lernte, das Zählen, abstrahiert von der besonderen Natur einer Gruppe von Objekten und bringt nur ein einziges Merkmal dieser Gruppe zum Bewusstsein, nämlich ihre Anzahl. Das Zählen besteht in der Herstellung einer ein-eindeutigen Zuordnung zwischen zwei Gruppen von Dingen, deren eine dem Zählenden völlig vertraut ist. Dazu ist keine Lautsprache nötig; eine Geberdensprache genügt, und so werden wir uns vorstellen dürfen, dass die ältesten Menschen mit Hilfe der Finger gezählt haben, indem sie diese einzeln den zu zählenden Dingen zuordneten, wie es heute noch die Kinder und die auf niedriger Bildungsstufe stehenden Völker machen. Mit Hilfe der Finger und Zehen konnten auch die einfachsten Additionen und Subtraktionen, ja selbst Multiplikationen bewerkstelligt werden, sodass die Anfänge des Rechnens mit den Anfängen des Denkens überhaupt zusammenfallen. Auch heute noch haben manche primitiven Völker eine erstaunliche Gewandtheit im Fingerrechnen, und wir wissen, dass selbst mathematisch hoch gebildete Völker mit Hilfe bestimmter Biegungen und Stellungen der Finger sogar sehr grosse Zahlen darstellen konnten. Bei den Griechen und Römern z. B. waren die Darstellung der Zahlen mit den Fingern beider Hände sowie ein hoch ausgebildetes Fingerrechnen weit verbreitet und zeugten von viel praktischem Sinn und grosser Erfahrung über die Leistungsfähigkeit der Hände.

Aber mit dem Gedanken war in den gesellig lebenden Menschen auch das Bedürfnis nach Mitteilung erwacht: die Sprache entstand, und in dieser Sprache wurden die durch die körperliche Organisation erweckten Vorstellungen bestimmter Mengen durch Zahlwörter festgehalten, welche vielleicht ursprünglich nur zur Benennung eben dieser Körperteile geschaffen wurden. Doch wie dem auch sei, soviel ist wahrscheinlich, dass die einfachsten Zahlwörter in der frühesten Periode der Sprachbildung entstanden sind.

Wiederum sind lange, unbekannte Zeiträume verflossen, bis die Menschen das geniale Mittel erfanden, ihre Vorstellungen und Gedanken dem Strome der Zeit zu entreissen und sie gewissermassen vom Individuum loszulösen; aber auch über der Periode, in der das Menschengeschlecht die Schrift erfand, liegt tiefes Dunkel. Wahrscheinlich führte der erste Versuch, das flüchtige Wort festzuhalten, zu einer Bilderschrift, die in der Praxis allmählich stilisiert und vereinfacht wurde, dabei in eine Wortschrift und schliesslich in eine Laut- und Buchstabenschrift überging. Aber mitten in dieser tonzergliedernden Buchstabenschrift treten fremdartige Zeichen auf, rätselhafte Eindringlinge: die Zahlzeichen, die Ziffern. Zwar schreibt man die Zahlen auch in der Lautschrift; aber bei allen Völkern treffen wir kurze Symbole für sie, die keine lautliche Bedeutung haben, und die deshalb den Unterschied der modernen Kultursprachen überbrücken; eine Ziffer ruft im Geist aller Menschen denselben abstrakten Begriff, den der Zahl, hervor.

Aus den vorstehenden kurzen Andeutungen geht hervor, dass wir, wenn wir Zahlen und Ziffern im Lichte der Kulturgeschichte betrachten wollen, zunächst ihre sprachliche und lautliche (Zahlensysteme) und in zweiter Linie ihre schriftliche Darstellung (Ziffernsysteme) betrachten müssen.

I.

Der Mensch ist das Mass aller Dinge. Dies alte Wort gilt auch für die Entstehung der Zahlensysteme. Kinder und niedrig stehende Völker benützen die Finger zum Zählen, und Reisende berichten, dass viele Volksstämme beim Zählen Steinchen oder Muscheln in Haufen von 5, 10 oder 20 zusammenlegen, entsprechend der Anzahl von Fingern und Zehen, oder dass sie beim Nennen einer Zahl gleichzeitig die entsprechende Anzahl von Fingern aufheben. Aus den zahlreichen Beobachtungen, die wir über das Zählen bei unzivilisierten Völkern kennen, mögen wir uns eine Vorstellung davon bilden, wie sich in den Anfängen des menschlichen Denkens das Zählen und Rechnen entwickelt haben könnte. Der menschliche Körper bildete den arithmetischen

Ausgangspunkt und Massstab für alle Zahlenbildung, und es entstanden so ganz von selbst beim Zählen grösserer Summen Gruppen von Einheiten, die Ruhepunkte gewähren. Wegen der gleichen körperlichen Gliederung ist es nur natürlich, dass die verschiedenen Völker im wesentlichen bei denselben Ruhepunkten inne hielten, nämlich bei einer Hand, oder bei beiden, oder bei Händen und Füssen. Bei einigen südafrikanischen Völkerschaften werden z. B. grössere Summen in folgender Weise gezählt:[1]) Ein Mann zählt an seinen Fingern von 1 bis 10; sobald er sie einmal durchgezählt hat, hebt ein zweiter Mann einen Finger auf, und dann beginnt der erste wieder von vorn. Hat der zweite alle 10 Finger ausgestreckt, so hebt ein dritter einen Finger auf und bezeichnet damit die Zahl 100 u.s.w. Dabei ist es auffallend, dass die Finger stets in ganz bestimmter Ordnung abgezählt werden: es beginnt nämlich jeder mit dem kleinen Finger der linken Hand (vielleicht weil die linke Hand als die geringere gilt und somit ihr kleiner Finger die niedrigste Stufe darstellt) und zählt durch bis zum kleinen Finger der rechten. Selbst bei hochstehenden Völkern finden wir noch Anklänge an jene Benutzung der Finger beim Zählen, obgleich uns der Zahlbegriff in viel abstrakterer Form vertraut ist; wir erinnern an die Redensarten: „er sieht aus, als ob er nicht bis fünf zählen könnte," oder „das kannst du dir an den Fingern abzählen."

Ein Beweis für die oben geäusserte Ansicht, dass die Zahlwörter zu den ältesten Teilen des menschlichen Sprachschatzes gehört haben müssen, liegt in der Tatsache, dass bei allen sprachverwandten Völkern die Zahlwörter in auffallender Weise übereinstimmen. Die vergleichende Sprachwissenschaft sieht deshalb in den Zahlwörtern zweier Völker einen Beweis für oder gegen ihre Stammverwandtschaft. Es sei hier nur auf die Verwandtschaft der einfachen Zahlwörter des Sanskrit, des Zend, des Neupersischen, Griechischen und Lateinischen, der germanischen und slawischen Sprachen hingewiesen, die den Schluss nahe legt, dass die Bildung dieser Zahlwörter zu einer Zeit erfolgte, als die Trennung des indogermanischen Urstammes in verschiedene

[1]) Vgl. Schrumpf, in der Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft 16, 463.

Völker noch nicht erfolgt war.[1]) Andererseits hat man aber durch die Vergleichung der Zahlwörter auch nachweisen können, dass z. B. die Esthen und Letten trotz ihrer Nachbarschaft ganz verschiedenen Sprachstämmen angehören: erstere gehören in die turanische (wie Finnen und Magyaren), letztere in die indogermanische Sprachfamilie.

Ueber die Frage nach der ursprünglichen Bedeutung jener ältesten Zahlwörter bestehen bloss unsichere Vermutungen und Hypothesen. Diese stützen sich auf Tatsachen und Beobachtungen, die wieder dem Leben und der Sprache primitiver Völker entnommen sind, und von denen wir wenigstens einige anführen wollen. In einer grossen Zahl von amerikanischen und oceanischen Sprachen werden die Zahlen 5, 10, 20 durch die Wörter „eine Hand", „zwei Hände" und „Hand und Fuss" oder „ganzer Mensch" bezeichnet; „zwei Menschen" bedeutet 40. Bei den Indern finden wir solche symbolische Darstellungen der Zahlen durch konkrete Begriffe häufig; so wird z. B. die Zahl 10000 Millionen durch dasselbe Wort wie die Lotospflanze bezeichnet, zweifellos deshalb, weil diese Pflanze ausserordentlich fruchtbar ist. Im Persischen ist das Zahlwort *pendji* (fünf) verwandt mit dem Wort *penjeh*, das eine ausgestreckte Hand bedeutet, und ähnliches findet man im Aegyptischen und Mexikanischen. Auch in den neueren Sprachen findet man unter dem gewöhnlichen Volk zuweilen konkrete Benennungen für einzelne Zahlen: so sagt man im Französischen argot[2]) für 31 „*jour sans pain*" weil der 31te der letzte im Monat ist: für 88 „*les jumeaux*" (die Zwillinge) u.s.w.

Auf diese Tatsachen hat man nun die bestechende Annahme gegründet, dass die Benennungen der einfachen Zahlwörter ursprünglich nicht Zahlen, sondern ganz bestimmte Gegenstände bedeuteten, so dass z. B. 2 durch Flügel oder Arme oder Augen, 3 durch Kleeblatt, 5 durch Hand, 100 durch Centifolie u.s.w. ausgedrückt würde. Eine weitere Stütze dieser Ansicht liegt darin, dass zahlreiche abstrakten Begriffe, namentlich alle mathematischen, eine sehr konkrete, oft sogar grobsinnliche sprachliche Grund-

[1]) Vgl. Hankel, Zur Geschichte der Mathematik im Altertum und Mittelalter. Leipzig 1874. S. 8.

[2]) Vgl. Pott, Die quinare und vigesimale Zählmethode. Halle 1847. S. 120.

lage haben, dass die Phantasie alle Aussendinge in Vergleich mit dem Menschen stellt, und dass die Namen der Körperteile des Menschen und der Tiere auf eine Menge von Gegenständen der Natur und Kunst, ja sogar auf moralische Eigenschaften übertragen worden sind. Da wäre es ganz gut möglich, dass auch den Zahlwörtern ähnliche Bilder zu Grunde liegen, die sich aber jetzt nicht mehr auffinden lassen, da die Völker schon instinktiv gefühlt haben müssen, dass es eben für die Zahl charakteristisch ist, allen formalen Inhalt aufzugeben und jede Erinnerung an irgend etwas Benanntes auszulöschen. So könnten auch, wie ein berühmter Sprachforscher[1]) meint, die Zahlwörter ursprünglich nur für die Benennung der Finger erfunden worden und erst später auf andere zu zählende Dinge übertragen worden sein, bei denen es auffiel, dass sie in ebenso grosser Zahl vorhanden waren, als die Hand Finger hat. Leider ist es der Sprachforschung bis jetzt noch nicht möglich gewesen, die Richtigkeit dieser geistreichen Annahmen zu bestätigen, denn ausser den angeführten Beispielen aus Sprachen roher Völker, ist es bis jetzt für keine Sprache einwandfrei gelungen, die einfachen Zahlwörter als aus anderen Wortstämmen abgeleitet zu erweisen. Wir werden bei der Besprechung der Zahlwörter unserer deutschen Sprache noch einmal auf diese Frage zurückkommen; zunächst sei nur soviel hervorgehoben, dass diese grosse Schwierigkeit, die etymologische Natur der Zahlbenennungen festzustellen, als ein neuer Beweis für das hohe Alter der Zahlwörter angesehen werden kann.

Es ist natürlich ganz unmöglich, alle Zahlen bis zu beliebiger Höhe mit besonderen, selbständigen Wörtern zu bezeichnen; auch das vollkommenste Gedächtnis würde bald den Dienst versagen. Um dieser Schwierigkeit Herr zu werden, hat der Mensch zu dem nie versagenden Mittel der Kombination mehrerer Zahlwörter gegriffen. Die Möglichkeit dazu bieten ihm die vier arithmetischen Grundoperationen: Addition und Subtraktion, Multiplikation und Division, die also in ihrer einfachsten Form wohl älter sind als die Erfindung der Zahlwörter. Das idealste Zahlensystem wäre natürlich ein solches, in dem jede Zahl nach einem und

[1]) L. Geiger, Ursprung und Entwicklung der menschlichen Sprache. Band I. S. 321. Stuttgart 1868.

demselben Prinzip unzweideutig mit Hilfe von möglichst wenigen Grundzahlwörtern dargestellt werden kann. Dass diese sehr schwierige Aufgabe von den Völkern bewusst erfasst und durch abstrakte Spekulation gelöst worden wäre, können wir nicht erwarten: aber ein glücklicher Instinkt, unterstützt durch die eigentümliche körperliche Organisation, hat die Völker so geleitet, dass viele Sprachen dem Ideal sehr nahe kommen, und dass nur an wenigen Stellen gewisse Unregelmässigkeiten uns daran erinnern, dass die Zahlensysteme nicht als Produkt einer bewussten und klaren Ueberlegung entstanden sind.

Wie gross nun die Anzahl der einfachen Zahlbezeichnungen ist, aus denen die Benennungen grösserer Zahlen abgeleitet werden können, das hängt davon ab, ob ein Volk beim Zählen den ersten Ruhepunkt nach der Durchzählung aller Finger wählte, oder ob es schon nach den 5 Fingern einer Hand eine Ruhepause eintreten liess, oder ob es endlich nach den Fingern auch noch die Zehen durchzählte und dann erst einen Markstein errichtete. Dementsprechend finden wir in den verschiedenen Sprachen im wesentlichen 3 Zählmethoden: eine dezimale, welche 10, eine quinäre, welche 5, und eine vigesimale, welche 20 zur Grundzahl hat. Es ist jedoch eine bemerkenswerte Tatsache, dass gerade die dezimale Zählmethode am verbreitetsten ist, während die quinäre und vigesimale seltener und, was die Hauptsache ist, nirgends rein vorkommen, sondern überall von der dezimalen durchsetzt sind oder diese durchsetzen.

Bei der dezimalen Zählmethode sind zunächst 10 einfache Zahlwörter nötig, für jeden Finger eines; das letzte derselben bezeichnet zugleich die für das ganze System charakteristische Basis. Die Zahlwörter für 11 bis 19 können mit Hilfe der Addition aus jenen 10 einfachen Wörtern abgeleitet werden, sodass man erhält zehn plus eins, zehn plus zwei u.s.w. Ebenso könnte man zehn plus zehn bilden u.s.w.; aber man sieht leicht, wie schleppend diese Bezeichnung ausfallen würde. Da trat nun die, wenn auch völlig unbewusste, mathematische Ueberlegung ein, dass aus der Addition von mehreren gleichen Posten die Multiplikation entsteht, und statt zehn plus zehn sagte man daher zwei mal zehn. Man erkennt, dass man mit den einfachen Zahlwörtern und den angegebenen Formen der Verknüpfung bis zu zehn mal zehn

auskommt. Die sprachliche Andeutung der Addition geschieht in den verschiedenen Sprachen verschieden, entweder durch einfaches Nebeneinanderstellen (z. B. *siebenzehn, dix-sept*) oder mit Hilfe eines Bindeworts (z. B. *drei und zwanzig, vingt et un*); dass dabei leichte Veränderungen der beiden Bestandteile und Zusammenrückungen vorkommen konnten, ist leicht einzusehen. Die durch Multiplikation entstandenen Wörter für die Zahlen 20, 30 usw. bis 90 werden natürlich einen Zusammenhang mit den Wörtern für die Faktoren erkennen lassen. Es ist hier nicht möglich, die zahlreichen Bildungsarten dieser Wörter vorzuführen; einige Beispiele mögen genügen. Zuvor aber sind einige kurze Bemerkungen über die Arten der menschlichen Sprache nötig. Ihrer Bildungsform nach teilt man die Sprachen gewöhnlich in isolierende, agglutinierende und flektierende. Zu den isolierenden Sprachen gehören z. B. das Chinesische und einige Sprachen Hinterindiens; sie bestehen aus ungegliederten, absolut unveränderlichen, meist einsilbigen Bedeutungslauten (Wurzeln); nur die Stellung im Satze entscheidet, ob ein Wort Subjekt, Objekt oder Prädikat ist. Auch Zusammensetzungen sind demnach ohne jede Schwierigkeit durch Nebeneinanderstellen der Wurzeln zu bilden. Zu den agglutinierenden Sprachen gehören die meisten Sprachen (z. B. das Ungarische). Hier werden die an und für sich ebenfalls unveränderlichen Wurzelwörter durch Vorsilben und Nachsilben, und was das eigentümlichste ist, durch mitten in das Wort hineingesetzte Silben verändert. Als die höchste Sprachform betrachtet man die flektierenden Sprachen; zu ihnen gehören sämtliche Sprachen des indogermanischen und des semitischen Sprachstamms, also insbesondere alle alten und neuen Kultursprachen. Sie haben die Fähigkeit, die Wurzeln, sowie die aus ursprünglich selbständigen Wurzeln entstandenen Vor- und Nachsilben zum Zweck des Ausdrucks gegenseitiger Beziehung regelmässig zu verändern (wir nennen solche Veränderungen „Beugung“ oder „Flexion“); sie behalten aber daneben die Mittel der Zusammenfügung bei. So kommt es, dass bei den isolierenden Sprachen jede Zusammensetzung für sich selbst spricht und keines Kommentars bedarf, während bei den andern aus einer Zusammensetzung schliesslich ganz veränderte neue Wörter sich ergeben, deren Entstehung nur der Sprachforscher ver-

möge einer genauen, gewissermassen mikroskopischen, Analyse zu enträtseln vermag.

In den flektierenden Sprachen werden die Zahlwörter für 20, 30, usw. durch Zusammenschmelzen der beiden Bestandteile oder durch Zusammensetzung der Einer mit einem von der Grundform für zehn (im Indogermanischen von *daça* —) abgeleiteten, meist verkürzten oder sonst veränderten Hauptworte gebildet. Dabei ist auffallend, dass vielfach der Multiplikator (d. h. die Einerzahl) seine ursprüngliche Form beibehalten hat, während der Multiplikand (d. h. die Basis des Zahlensystems) verändert erscheint. So ist z. B. im Deutschen 7 = sieben, 10 = zehn, 70 = siebzig. Dies mag daher kommen, dass der Multiplikand als Plural empfunden wird und deshalb oft auch in dieser Form erscheint, so z. B. im Lateinischen und Griechischen. In den semitischen Sprachen sind die Zahlwörter für 30, 40 usw. einfach die Pluralformen der Wörter für 3 bis 9, während 20 seltsamerweise oft als Plural von 10 erscheint.

Es versteht sich von selbst, dass in einer und derselben Sprache Addition und Multiplikation unterschieden werden müssen, sonst würde man z. B. fünfzehn und fünfzig verwechseln. In den nicht flektierenden Sprachen geschieht diese Unterscheidung häufig durch die Stellung, indem die (im Sinne der Schrift) vorausstehenden kleineren Zahlen multiplikativen, die folgenden additiven Sinn haben; so wird z. B. im Chinesischen die Zahl 22 dadurch ausgedrückt, dass die Wörter für 2, 10, 2 in dieser Reihenfolge nebeneinander stehen. Auch die flektierenden Sprachen greifen zuweilen zu diesem Mittel: vergl. frz. *vingt-quatre* und *quatre-vingts*: dtsch. *zweihundert und zwei.*

Die Zahl 110 konnte man sprachlich auf zweierlei Weise darstellen: entweder durch die Zusammensetzung 10 mal 10 plus 10 oder durch (10 + 1) mal 10. Es ist eine auffallende und bemerkenswerte Tatsache, dass fast alle Völker, die zu so hohen Zahlen aufstiegen, den ersten Weg einschlugen, und damit einen wunderbaren mathematischen Instinkt bewiesen. Denn wir können hier eine ganz ähnliche Ueberlegung anstellen wie oben, indem wir aus der Multiplikation von mehreren gleichen Faktoren die Potenz entstehen lassen, d. h. 10^2 statt 10 mal 10 sagen. Selbstverständlich ist das Wort für 100 nicht aus einer solchen Ueberlegung entstanden; im Gegenteil, in sehr vielen Sprachen ist es

ursprünglich nach Analogie von „*zehnzig*“ gebildet. Aber die Hauptsache ist, dass dieses Wort im Sinne von 10^2 gebraucht[1]) und damit der zweite der oben angegebenen Wege zur Bildung des Worts für 110 ausgeschlossen wurde. Dadurch blieb der Grundcharakter des dezimalen Systems rein erhalten.

Ueber die Bildung der weiteren zusammengesetzten Zahlwörter brauchen wir uns nicht aufzuhalten. Für zehn hundert tritt ein neues Zahlwort auf, und in einem streng durchgeführten Dezimalsystem müssten für die Stufenzahlen 10^2, 10^3, 10^4 u.s.w. besondere Worte existieren, was aber ausser im Sanskrit in keiner Sprache der Fall ist. Doch ist zu bemerken, dass in älterer Zeit überhaupt nur wenige Völker über die 3. Stufe hinausgingen.

Neben der dezimalen finden wir nun, wie oben bemerkt wurde, auch eine quinäre und eine vigesimale Zählmethode. Ein strenges Quinarsystem müsste für die 5 niedersten Zahlen, sowie für die Stufenzahlen 5^2, 5^3 u.s.w. besondere Namen besitzen, und Analoges gilt für das Vigesimalsystem. Ein solches konsequent durchgeführtes Quinarsystem gibt es nirgends; wohl aber kennen wir zahlreiche Fälle, in denen durch das Dezimalsystem eine quinäre Zählmethode in dem Sinne durchklingt, dass von 6 an die Zählung fünf plus eins, fünf plus zwei u.s.w. anhebt. Die Fälle, wo zehn durch fünf plus fünf oder zwei mal fünf ausgedrückt wird, sind schon sehr selten, und bei den Zahlen über 10, tritt meist der Uebergang zur dezimalen Zählungsweise ein[2]); jedenfalls kennt man keine Sprache, in der 25 durch fünf mal fünf ausgedrückt wird.

Der eigentliche Boden[3]) für diese Zählmethode ist Afrika, wo man in zahlreichen Negersprachen die angeführten Eigentümlichkeiten gefunden hat. Ausserdem findet sie sich in vielen oceanischen Mundarten, bei den arktischen Völkern im äussersten Nordosten Asiens (Samojeden, Tungusen, Kamtschadalen, Korjäken und Tschuktschen); in Amerika bei den Eskimos und bei

[1]) Es sei jedoch bemerkt, dass die Germanen neben dem dezimalen Hundert auch noch ein duodezimales Grosshundert (= 120) hatten, und dass wahrscheinlich im Got. bis *twaliftēhund* fortgezählt wurde. (S. später.)

[2]) Wahrscheinlich sind diese letzteren Zahlwörter erst viel später entstanden.

[3]) Vergl. Pott, Die quinäre und vigesimale Zählmethode. Halle 1847.

zahlreichen Indianerstämmen der nördlichen und südlichen Hälfte dieses Weltteils. In den europäischen Sprachen ist sie gänzlich unbekannt.

Das Vigesimalsystem ist häufig vollkommener ausgebildet als das quinäre. Bei den Azteken in Mexiko, den Maya in Yukatan, den Bewohnern von Guatemala finden sich besondere Wörter für 20, 400 ($= 20^2$); 8000 ($= 20^3$) und 160000 ($= 20^4$); die geraden Zehner und die Hunderter werden durch Multiplikation mit 20 gebildet, z. B. 160 = 8 mal 20; 1000 ist zweimal vierhundert plus zehn mal zwanzig; die ungeraden Zehner werden mit Hilfe einer Addition oder Subtraktion von 10 ausgedrückt, z. B. 50 durch 2 mal 20 plus 10 oder 3 mal 20 minus 10. Der Hauptherd dieser Zählmethode ist Amerika. Auch in Asien (z. B. bei den Zigeunern, im Kaukasus und bei den von den Japanern fast völlig verdrängten Ainos im Süden der Halbinsel Sachalin) und in Afrika, sowie im Gebiet der oceanischen Sprachen finden sich Beispiele für das Vigesimalsystem. Doch ist es für uns am interessantesten, dass es sich auch in europäischen Sprachen nachweisen lässt, nämlich im Baskischen, im Albanesischen, im Dänischen und im Keltischen. Im Baskischen findet sich bis zur Zahl 90 (= 4 mal 20 plus 10) ein ausgesprochenes Vigesimalsystem. In der Sprache der Albanesen wird 40 durch zwei mal zwanzig ausgedrückt, während die übrigen Zahlwörter dezimal gebildet sind. Im Dänischen findet man bei 50, 60, 70, 80, 90 vigesimale Zählweise. In den keltischen Mundarten, die in der Bretagne, in Wales, im Westen Irlands und in Schottland gesprochen werden, findet man zahlreiche Spuren der vigesimalen Zählmethode, die jedoch von der dezimalen und quinären durchsetzt ist. So ist z. B. in Wales 12 = 10 + 2, aber 17 = 15 + 2, dann 40 = 2 × 20 u.s.w., 30 = 20 + 10 u.s.w. Aus dem Keltischen sind bekanntlich Spuren dieser Zählmethode in einzelne romanische Sprachen, besonders ins Französische übergegangen; wir erinnern an *quatre-vingts* (80), *quatre-vingt-dix* (90) und *soixante-dix* (70). Es werden ferner, wenn auch seltener, die Ausdrücke *six-vingts* (120), *sept-vingts* (140), *huit-vingts* (160), ja sogar *quinze-vingts* (300), gebraucht; das letztere z. B. im Namen eines Pariser Blindenhauses, das ursprünglich zur Aufnahme von 300 Blinden bestimmt war. Diese Zählweise ist im Französischen sehr alt,

doch brauchte man früher und zuweilen auch jetzt noch daneben *septante*, *huitante*, *nonante*. Der alte Gebrauch von *quarante* und *soixante* als Ausdruck einer unbestimmten grossen Zahl beruht wohl ebenfalls auf dieser vigesimalen Zählung. Es sei endlich in diesem Zusammenhang an das englische *score* und das deutsche *Stiege* für die Zahl 20 erinnert.

Wir haben gesehen, dass theoretisch die Addition und Multiplikation zur sprachlichen Darstellung der Zahlwörter genügen. In der Praxis findet man aber in den verschiedenen Sprachen auch die Subtraktion und die Division verwendet. Wir erinnern als Beispiel für subtraktive Bildungen ans Lateinische, wo z. B. 19 = *undeviginti*, 38 = *duodequadraginta* ist und ans Griechische, wo 48 durch „fehlend zwei an fünfzig" ausgedrückt wird: ferner an vigesimale Bildungen wie 50 = drei mal zwanzig minus 10 (bei den Ainos) oder quinäre wie 7 = zwei mal fünf minus 3 (bei den Bewohnern der Südseeinseln), endlich an Sanskrit 19 = *unavinçati*, d. h. eine mangelhafte Zwanzig, wo das was abzuziehen ist, als selbstverständlich weggelassen wird.[1]) Diese Beispiele zeigen einerseits aufs neue, dass die Zahlensysteme nicht ein Produkt bewusster Ueberlegung sind, andrerseits, dass jene (selteneren) Zahlwörter erst verhältnismässig spät entstanden sein können.

Am seltensten wird die Division angewendet. Wir erinnern an das deutsche anderthalb und dritthalb, Ausdrucksweisen, die ähnlich im Malaiischen, Esthnischen, Polnischen und Magyarischen auftreten: in den beiden ersten Sprachen sagt man z. B. dritthalb hundert für 250 und halb fünfzig für 45 (das soll heissen, die fünfte Dekade halb). Wir weisen noch hin auf das Dänische, wo man in den erwähnten vigesimalen Bildungen z. B. halb drei mal zwanzig für 50 sagt (d. h. der 3te Zwanziger halb); dabei unterbleibt zuweilen die ausdrückliche Nennung der Zahl 20 als selbstverständlich. Aehnlich sagen die Dajaken, ein malaiischer Volksstamm auf der Insel Borneo halb zwei mal zehn für 15 und halb vier mal zehn für 35.

[1]) Vgl. hiezu die Ausdrucksweise eines nordamerikanischen Indianerstamms, wo 8 und 9 durch „zwei davon" und „eins davon" ausgedrückt, also die Nennung der Stufenzahl unterdrückt wird. Vielleicht führte der Verlust eines oder zweier Finger, den ein Krieger im Kampf erlitt, das Volk auf diese Ausdrucksweise.

Die Zahl solcher Beispiele liesse sich leicht vermehren. Wir wollen jedoch noch kurz diejenigen Zahlensysteme erwähnen, die auf anderen als den Zahlen 5, 10 und 20 aufgebaut sind. Bei den Neuseeländern hat man ein sehr merkwürdiges Zahlensystem gefunden, welches 12 durch 11 mit 1, 13 durch 11 mit 2, 22 durch zwei mal 11 u.s.w. ausdrückt, und welches besondere Benennungen[1]) hat für die Zahlen $11^2 = 121$ und $11^3 = 1331$. Es finden sich ferner in manchen Sprachen Zahlwörter, die auf die Grundzahlen 3,4 und 8 hinweisen. Die Vierzähler und die Achtzähler versteht man leicht: sie berühren beim Zählen mit dem Daumen je die vier Finger derselben Hand. Das Zählen mit Hilfe der Grundzahl 3 ist vielleicht auf die drei Glieder der einzelnen Finger zurückzuführen.

Eine ganz eigentümliche Rolle spielen diejenigen Zahlwörter und Zahlbezeichnungen, die auf die Grundzahlen 6, 12 und 60 zurückzuführen sind. An der Westküste Afrikas und in Brasilien gibt es Völker, die besondere Namen für die Zahlen 6, 12, 36 ($= 6^2$) und 216 ($= 6^3$) haben; und im keltischen Dialekt der Bretagne wird 18 durch drei mal sechs ausgedrückt. Das Duodezimalsystem spielte in den Mass-, Münz- und Gewichtssystemen fast aller Kulturvölker eine bedeutende Rolle, und hat diese Rolle heute noch nicht ganz ausgespielt. In theoretischer Hinsicht ist die Zahl 12 als Basis eines Zahlensystems zweifellos bequemer als 10, da sie mehr Faktoren enthält und deshalb bei Teilungen praktischer ist. Bei den Römern wurden z. B. die Brüche mit dem Nenner 12 vor allen andern ausgezeichnet; im Altgermanischen und Altnordischen bedeutete hundert in der vorchristlichen Zeit das sogenannte Grosshundert (120), und in den skandinavischen Sprachen wird heute noch das kleine Hundert (100) vom grossen Hundert (120) unterschieden; bis weit ins 19. Jahrhundert hinein waren auch die meisten deutschen Masse, Münzen und Gewichte duodezimal geteilt. Es war z. B. 1 Rute = 12 Fuss, 1 Fuss = 12 Zoll, 1 Zoll = 12 Linien; 1 Gross = 12 Dutzend, 1 Dutzend = 12 Stück. Erst im Verlauf der französischen

[1]) Ueber die mögliche Entstehung eines auf 11 oder 6 gegründeten Zahlensystems aus der Fingerrechnung vgl. G. Kewitsch, in der Zeitschrift für Assyriologie **18**, 73—95 (1904/05) und in den Unterrichtsbl. für Math. und Naturw. **15**, 122 ff. (1909). Gewichtige Einwände gegen diese Erklärung hat E. Hoppe erhoben im Archiv der Math. und Physik (3) **15** 304—313, (1908).

Revolution wurde ein auf der dezimalen Teilung beruhendes Mass-, Münz- und Gewichtssystem geschaffen und im Jahre 1799 in Frankreich eingeführt. Am 1. Januar 1872 erlangte dieses System auch in Deutschland gesetzlich Geltung, und wird heute in den meisten europäischen Ländern benützt, mit Ausnahme Englands, das in seinen Massen, Münzen und Gewichten noch Reste des alten Duodezimalsystems besitzt.

Das sexagesimale Zahlensystem (mit der Grundzahl 60) haben heute noch alle Kulturvölker im Zeit- und Winkelmass, und die Bezeichnung 1 Schock = 60 Stück weist ebenfalls darauf hin. Es steht fest, dass in allen diesen Fällen das Zwölfer- und Sechsersystem sich unter dem Einfluss des Dezimalsystems aus dem Sexagesimalsystem entwickelt haben, sodass also dieses das älteste ist. Sein Ursprung weist auf Babylonien hin, wo wir auch ein sexagesimales Ziffernsystem kennen lernen werden. Die Babylonier hatten für 60, 600 und 3600 ($= 60^2$) die besonderen Benennungen *Soss*, *Nêr* und *Sâr*, auch war ihr gesamtes Mass-, Münz- und Gewichtssystem sexagesimal, und eine Reihe von Forschern haben nachgewiesen, dass die Wiege der Messkunst überhaupt in Babylonien stand. In der Vergleichung der Masse und der Zahlwörter hat man ein wichtiges Mittel erkannt, um den Verkehr zwischen zwei Völkern festzustellen; denn die Völker übernahmen nicht nur die Benennungen der Masse, Münzen und Gewichte von einander, sondern öffneten auch gerne die Reihen ihres heimischen Zahlensystems fremden Eindringlingen, die sich durch irgend welche besondere Brauchbarkeit auszeichneten. Es sei hier namentlich auch auf die merkwürdige Tatsache hingewiesen, dass in fast allen europäischen Sprachen von 60 an ein anderes Bildungsprinzip für die Zehnerzahlen auftritt, was auf die Einwirkung eines Sexagesimalsystems schliessen lässt. Im Got. z. B. benützte man zur Zusammensetzung bis 60 das Wort *tigjus* (= 10); von 70 an *tēhund* (vgl. das deutsche Jahrzehnt!) Im Lat. und Griech. werden bis 60 die Grund-, von 70 an die Ordnungszahlen zur Zusammensetzung benützt. Es ist wohl als sicher anzunehmen, dass dieses Sexagesimalsystem babylonischem Einfluss zu verdanken ist.[1])

[1]) Vgl. Joh. Schmidt, Die Urheimat der Indogermanen und das europäische Zahlsystem. Abhandl. d. Berliner Akad. d. Wiss. vom Jahre 1890.

Aus allen diesen Einzelheiten sehen wir, wie mannigfach verschlungen die Wege sind, die die Sprache zur Bildung der Zahlwörter eingeschlagen hat, wie verschieden die Gedankengänge sind, die sich dabei durchkreuzten, und wie unrichtig es deshalb wäre, wenn man die oben mehr theoretisch dargelegten Gedankengänge als die einzig möglichen darstellen wollte. Die Natur ist eben stets komplizierter als die Gesetze, welche der Mensch abstrahieren kann.

Wir haben oben schon erwähnt, dass die Namen für die höheren Stufenzahlen verhältnismässig jungen Datums sind; denn die alten Völker hatten selten das Bedürfnis, über 1000 hinauszugehen. Häufig bezeichneten diese Wörter ursprünglich unbestimmt grosse Mengen und erlangten erst später eine präzisere Zahlenbedeutung (vgl. griech. μύριοι und μυρίοι). Aber es ist eine bemerkenswerte Tatsache, dass, ausser im Sanskrit, in keiner Sprache für alle Stufenzahlen besondere Wörter existieren. Die Griechen hatten besondere Namen bis zur vierten Stufenzahl; für 10^5, u.s.w. benützte man Zusammensetzungen und 10^8 ist eine Myriade von Myriaden; darüber hinaus gibt es vor Archimedes kaum Zahlenangaben, wenn wir von der nicht durch ein Zahlwort, sondern durch dunkle Umschreibungen bezeichneten sogenannten „platonischen Zahl“ (wahrscheinlich 60^4) absehen. (Plato, Republik VIII 546, B—D.). Das Lateinische besitzt bloss bis zur dritten Stufenzahl besondere Namen und Plinius sagt: „Non erat apud antiquos numerus ultra centum milia.“

Die Gründe,[1]) welche zur Schaffung neuer Namen für die Stufenzahlen führten, liegen teils in religiösen Betrachtungen, teils in wissenschaftlichen Ueberlegungen, teils in den Forderungen des Handels- und Verkehrswesens.

Religiöse Gründe waren es besonders bei den Indern: dieses zahlenfreudige Volk versinnbildlichte das Unfassbare und Erhabene seiner Gottheit durch riesige Zahlen, mit denen sie merkwürdig leicht operierten. Diese Leichtigkeit ist aber darin begründet, dass die Inder schon seit den ältesten Zeiten besondere Namen für alle Stufenzahlen bis zu bedeutender Höhe besassen, so dass alle Rechnungen im Grunde sich auf Operationen mit

[1]) Siehe z. B. Tropfke, Geschichte der Elementarmathematik. Bd. I Leipzig 1902 und Hankel a. a. O.

Einern beschränkten. Im Mahâbhârata finden sich die Namen aller Stufenzahlen bis zu 10^{17}; nach demselben Nationalepos gab es $24 \cdot 10^{15}$ Götter, und Buddha soll 600000 Millionen Söhne gehabt haben. Ein indisches Volksmärchen erzählt von einer Affenschlacht, an der 10^{40} Affen teilgenommen haben, eine Zahl, von der man sich durchaus keine Vorstellung machen kann. Die Buddhisten gelangten in ihrer Schwärmerei für grosse Zahlen zu Namen für Stufenzahlen von unvorstellbarer Grösse, die aber Buddha allein begreifen konnte. Die Anzahl der Staubatome, aus denen der göttliche Berg Su Meru besteht, soll Buddha durch eine Zahl angegeben haben, bei welcher die Anzahl der Ziffern in unserer heutigen Schreibweise allein eine 40stellige Zahl wäre. Auch die Semiten haben grosse Zahlen als Symbole religiöser und geheimnisvoller Beziehungen benützt (vgl. Offenb. Joh. V, 11 und IX, 16; ferner Psalm LXVIII, 18; Daniel VII, 10, sowie das angeführte Werk von Hilprecht, wo 60^4 als eine den Babyloniern sehr wichtige Zahl nachgewiesen wird), aber sie gehen selten über Myriaden[1]) von Myriaden hinaus und für unfassbar grosse Zahlen verweisen sie, wie wir es heute noch tun, auf die Sterne am Himmel, den Staub auf Erden und den Sand am Meer.

Der erste Versuch, das Zusammenfassen höherer Einheiten wissenschaftlich durchzubilden, findet sich bei Archimedes (287—212 v. Chr.), der in seiner merkwürdigen Sandrechnung[2]) (ψαμμίτης) sich die Aufgabe stellte, die Anzahl der Sandkörner zu bestimmen, die eine Kugel von der Grösse des Weltalls fassen würde. Um die dabei auftretenden ungeheuren Zahlen zu benennen, fasst er die Zahlen bis zu 10^8 als eine Oktade zusammen; die Zahlen von 10^8 bis 10^{16} bilden die zweite Oktade u.s.w., und er findet die Zahl der Sandkörner als 1000 Einheiten der achten Oktade, d. h. eine Zahl, die mit 59 Nullen geschrieben würde. Er ging aber mit seinen prinzipiellen Erörterungen weiter bis zur hundertmillionsten Oktade; die letzte Zahl derselben würde mit 800 Millionen Nullen geschrieben; sie wird als Einheit einer zweiten Periode betrachtet, mit der ebenso verfahren werden kann. Eine

[1]) Im Hebr. existieren zwei Ausdrücke für 10000; der eine entspricht unserem zehn mal tausend, der andere dem griech. μύριοι.

[2]) Vgl. darüber z. B. M. Simon, Geschichte der Mathematik im Altertum in Verbindung mit antiker Kulturgeschichte, Berlin 1909, Seite 283 ff.

ganz ähnliche Gruppierung unternahm Apollonius von Pergä[1]) (gest. 170 v. Chr.), der aber statt der Oktaden die Tetraden (d. h. Myriaden) zu grunde legte. Es möge nur noch auf den merkwürdigen Zufall (?) hingewiesen werden, dass Inder und Griechen beide den Staub bzw. den Sand zu zählen versuchten.

Es ist selbstverständlich, dass alle diese aus religiösen und wissenschaftlichen Gründen gebildeten Benennungen der Stufenzahlen praktisch ohne Bedeutung blieben. Erst Handel und Verkehr brachten dauernden Zuwachs für den Zahlwörterschatz der Völker; das zeigt z. B. die Geschichte der Wörter Million und Milliarde. Beide sind italienische Vergrösserungsformen von mille und finden sich zum ersten Mal in einem 1484 in Lyon erschienenen und handschriftlich verbreiteten Werk von Nicolas Chuquet, der sie wohl von italienischen Kaufleuten gehört hatte. Gedruckt erscheint das Wort Million zuerst in einem 1494 zu Venedig erschienenen Werk des Luca Paciuoli. Durch italienische Kaufleute kam es nach Deutschland und findet sich bei Adam Riese (1492—1559) in der Verbindung „eine Million Gulden." Als abstraktes Zahlwort finden wir es an einer Stelle des Rechenbuchs von Christoph Rudolff (1540); aber erst die „Anfangsgründe aller mathematischen Wissenschaften" von Chr. Freiherr von Wolff (1710) benützen das Wort konsequent; bis dahin hatte man tausend mal tausend gesagt. Das Wort Milliarde tritt zwar schon 1558 in einem französischen Arithmetikwerk von J. Trenchant auf, wird aber in Frankreich erst im 19ten Jahrhundert allgemein gebräuchlich und bedeutet die Zahl 10^9; in Deutschland wurde die Milliarde erst populär, als Frankreich 1871 eine Kriegsentschädigung von 5 Milliarden Franken zahlen musste. Die Wörter Billion, Trillion u.s.w., die auch schon Chuquet vorgeschlagen hatte, werden in allen europäischen Ländern als 10^{12}, 10^{18} u.s.w. definiert, ausser in Frankreich, wo sie namentlich im Handel 10^9, 10^{12} u.s.w. bedeuten, so dass im Französischen *un million* und *un milliard* gleichbedeutend sind. Diese Zahlen sind aber schon so gross, dass es uns unmöglich ist, eine genaue Vorstellung von ihnen zu bilden. Als Veranschaulichung diene die Bemerkung, dass man mehr als 30000 Jahre

[1]) Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, Bd. I S. 346. (3te Auflage).

brauchen würde, wenn man auf eine Billion zählen wollte und in jeder Sekunde eine Zahl aussprechen würde, dass also das Menschengeschlecht in historischer Zeit noch keine Billion Sekunden erlebt hat.

Für die Stufenzahlen 10^4, 10^5, 10^7, 10^8, 10^{10}, 10^{11} u.s.w. fehlen in den meisten Sprachen besondere Namen, so dass man zusammengesetzte Zahlwörter benützen muss, wodurch natürlich die Reinheit und Konsequenz des dekadischen Systems gestört und die Durchsichtigkeit, namentlich grosser Zahlen, getrübt wird. Ein Beispiel wird dies klar erweisen. Die Zahl 86 789 325 178 sprechen wir heute folgendermassen aus: „*Sechs und achtzig Milliarden, sieben hundert neunundachtzig Millionen, drei hundert fünfundzwanzig tausend, einhundert achtundsiebzig*". Der Grieche, der für 10^4 ein besonderes Wort hatte, sagte: „*Achthundert siebenundsechzig Myriaden von Myriaden, achttausend und neunhundert zweiunddreissig Myriaden, fünftausend und einhundert achtundsiebzig.*" Der schon genannte Adam Riese sagt: „*Sechs und achtzig tausent tausent mal tausendt, sieben hundert tausent mal tausendt, neun vnnd acktzig tausent mal tausend, dreihundert tausent, fünff vnnd zwantzig tausend, ein hundert, acht und siebentzig.*"

Die idealste Aussprache wäre offenbar die, dass überall bloss die Einerzahlen von links nach rechts oder umgekehrt gelesen und jede mit dem ihr zukommenden Stufennamen versehen würde; die einzige Sprache, in der dies möglich ist, ist das Sanskrit, wo die obige Zahl so gelesen würde: 8 *kharva*, 6 *padma*, 7 *vyrbuda*, 8 *kôti*, 9 *prayuta*, 3 *laksha*, 2 *ayuta*, 5 *sahasra*, 1 *çata*, 7 *daçan*, 8.

Werfen wir endlich noch einen Blick auf die Zahlwörter der deutschen Sprache. Sie sind alle nach dem dezimalen Zahlensystem mit Hilfe der Addition und Multiplikation gebildet und die 10 niedersten Zahlen sind uralte indogermanische Wörter, deren etymologische Natur noch nicht einwandfrei erforscht ist, wenngleich zahlreiche Theorien darüber bestehen; namentlich Bopp, Lepsius und Pott haben ganz Hervorragendes in der Untersuchung des Wesens der Zahlen von sprachlicher Seite aus geleistet. Es würde hier zu weit führen, diese Theorien auseinander zu setzen; es sei nur der geistreiche Gedanke der beiden ersteren

erwähnt, nach dem die Zahlwörter eins, zwei, drei mit den Fürwörtern ich, du, er in Zusammenhang stehen; Pott verwirft diese Gedanken allerdings entschieden. Die untenstehende Tabelle gibt einen Ueberblick über die Entwicklung der deutschen Zahlwörter und ihre Verwandtschaftsverhältnisse und ist nach Pott, Kluge (etymolog. Wörterbuch), Schleicher (Compendium der vergleichenden Grammatik der indogermanischen Sprachen) und Meringer (Indogermanische Sprachwissenschaft) zusammengestellt.

Neuhochdeutsch (seit 1500)	Mittelhochdeutsch (12.—14. Jahrh.)	Althochdeutsch (8.—12. Jahrh.)	Gotisch (Bischof Wulfila 311—380)	Lateinisch	Griechisch	Altindisch (Sanskrit)	Indogermanisch Urform (erschlossen)
eins	einer einiu einez	einêr einiu einaz	ai-ns	oi-nos unus	εἷς οἰ-νή	é-ka	Nicht sicher zu ermitteln, vielleicht ai-na
zwei	zwêne zwo zwei	zwêne zwâ (zwô) zwei	tvai	duo	δύο	dvá	dvó
drei	drîo drî driu	drî drîo driu	þreis	tres	τρεῖς	tráyas (Neutr. trí)	tri
vier	vier	fior	fidvor	quattuor	τέτταρες τέσσαρες	catvaras	catvar
fünf	vümf	fimf	fimf	quinque (aus penque)	πέντε	pánca	penqe
sechs	sehs	sehs	saíhs	sex	ἕξ	shásh	csvacs
sieben	siben	sibun	sibun	septem	ἑπτά	saptá	saptan
acht	aht	ahto	ahtau	octo	ὀκτώ	ashtau	ok'to

Neuhochdeutsch (seit 1500)	Mittelhochdeutsch (12. bis 14. Jahrh.)	Althochdeutsch (8. bis 12. Jahrh.)	Gotisch (Bischof Wulfila 311—380)	Lateinisch	Griechisch	Altindisch (Sanskrit)	Indogermanisch Urform (erschlossen)
neun	niune niwen	niun	niun	novem	ἐννέα	náva	névn̥
zehn	zehene zêne zehen zên	zehan	taíhun	decem	δέκα	dáça	dek'm̥
hundert	zehenzic hunt hundert	zehanzo (zehanzug) hunt	hund taíhun-taihund	centum	ἑκατόν	çatám daçati	k'mtóm̥ ça-ta
tausend	tûsent		thusund-ja thusundi	mille	χίλιοι	sahásra	fehlt

In neuerer Zeit hat eine Amerikanerin, Caroline T. Stewart eine sehr plausible Erklärung für die Zahlwörter des indogermanischen Sprachstamms aufgestellt, der wir im wesentlichen folgen.[1])

Das Zahlwort eins war schon im Althochdeutschen unbestimmter Artikel und war im Sanskrit ursprünglich ein Fürwort mit der Bedeutung „dieses hier." Lange Zeit hindurch war dies das einzige Zahlwort. Die beiden Hände (auch die Flügel, Arme, Augen, Ohren u.s.w.) vermittelten den Begriff zwei, und es entstand ein neues Zahlwort, welches ursprünglich „das dort, jenes" bedeutete. Beim Zählen an den Fingern nimmt drei eine Mittelstellung ein; das alte Sanskritwort wird deshalb gedeutet als „mittlere oder Uebergangszahl". Wenn auch der Begriff vier wohl vor dem Begriff fünf entstanden ist, so bekam doch fünf zuerst seinen Namen; das Wort *pánca* ist verwandt mit den Sanskritwörtern für Hand und Finger. Das Zahlwort vier wird gedeutet als eine Kombination von *pánca* und *tráyas*.

Sechs wird erklärt als „die grosse Zahl" als Anfang der zweiten Serie am Daumen der zweiten Hand; sieben stammt

[1]) Caroline T. Stewart. The origin of the names of the Numerals. Beiträge zur Kunde der indogerm. Sprachen. Herausgeg. von Bezzenberger und Prellwitz. Bd. 30. Seite 223—265.

ab von einem Wort, das „vereinigt sein, verbunden sein“ (nämlich mit sechs) bedeutet. Das Zahlwort acht ist im Sanskrit, wie auch im Lateinischen und Griechischen eine Dualform, und drückt aus, dass etwas zweimal erreicht ist; entweder bezieht sich dies auf den beim Zählen zum zweiten Mal erreichten Mittelfinger, oder es bedeutet einfach „zwei Vierer.“

Damit würde diejenige Deutung von neun stimmen,[1]) die in diesem Wort einen Zusammenhang mit „neu“ vermutet und annimmt, dass im Indogermanischen ursprünglich nach Tetraden gezählt wurde, so dass die neun als „neue Zahl“ der dritten Tetrade anzusehen wäre.

Das Zahlwort zehn hängt mit einem Zeitwort zusammen, welches „zum Abschluss bringen“ bedeutet. Mit derselben Wurzel ist das alte Sanskritwort für 100, nämlich *çatám* verwandt.

Das Wort hundert ist ein Kompositum, dessen zweiter Teil zu dem gotischen Zeitwort *raþjan* (zählen) gehört; der erste bedeutet an sich schon hundert, wie das got. *twahunda* zeigt. Im Altgermanischen und Altnordischen bezeichnet hundert in der vorchristlichen Zeit das sogenannte Grosshundert, nämlich 120, und heute hat (wie schon bemerkt wurde) das Wort auf Island noch immer diese Bedeutung[2]). Zur Unterscheidung sagte man im Althochdeutschen *zehanzug* und benützte die Silbe *hund* erst bei mehreren Hundert.

Bei der Zahl tausend zeigen die Wörter der indogerm. Sprachen keine Verwandtschaft mehr, ein Beweis, dass dies Zahlwort erst entstanden ist, als die Zweige des indogerm. Sprachstamms schon auseinander gegangen waren. Seltsamerweise stimmen die got. und slawische Bezeichnung dieses Worts überein; was aber die Grundbedeutung dieses germanisch-slawischen Wortes ist, ist unsicher. Wahrscheinlich bedeutet es „eine grosse Menge.“

Die Silbe *-zig*, welche zur Bildung der Zehnerzahlen verwendet wird, kommt her von einem Wort, das im Gotischen im Singular *tigus* heissen müsste, und das mit *taihun* verwandt ist; es findet sich jedoch bloss in der Mehrzahl, so dass z. B. got.

[1]) Pott, a. a. O. S. 129 Anm.
[2]) Vgl. Joh. Schmidt a. a. O.

fidvortigjus soviel als vier Dekaden bedeutet. Der oben erwähnte Einschnitt in der Zusammensetzung der Zehnerzahlen ist im Deutschen nicht mehr zu bemerken.

Die Zusammensetzung der übrigen deutschen Zahlwörter ist so durchsichtig, dass wir uns dabei nicht aufzuhalten brauchen; es möge nur auf die verkehrte, mit der Ziffernschrift nicht übereinstimmende Aussprache der zusammengesetzten Zahlen hingewiesen werden, die viel Verdruss und zahlreiche Missverständnisse im Gefolge hat, die sich jedoch auch im Sanskrit und im Arabischen findet. (Vgl. engl. three hundred and forty-six; franz. trois cent quarante-six; aber deutsch dreihundert sechsundvierzig).[1])

Die Zahlwörter elf und zwölf fallen scheinbar aus der dezimalen Zählweise heraus, da sie nicht wie z. B. im Lat., Griech. und Sanskrit aus zehn plus eins, zehn plus zwei entstanden sind. Im Mittelhochdeutschen finden wir *eilf*, *eilif* und *einlif* sowie *zwelf*, *zwelif*; im Got. *ainlif* bzw. *twalif*. Die Wörter erscheinen also deutlich zusammengesetzt aus *ain-* bzw. *twa-* und der Silbe *-lif*. Diese hängt wahrscheinlich zusammen mit der indogerm. Wurzel *lik* = übrig sein (lat. *relinquere*) oder mit der Wurzel *lip-*, welche im gotischen *laiba* (= Überbleibsel) vorkommt[2]). Darnach bedeutet elf soviel wie „es bleibt eins" oder „eins überschiessend", nämlich von zehn an gerechnet,[3]) und ähnlich wäre zwölf zu erklären. Diese Erklärung findet eine Bestätigung in den Zahlwörtern des Lithauischen, wo die Namen der Zahlen 11 bis 19 durch Anhängung der Silbe *-lika* an die Namen der Einer gebildet werden. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass unter dem Einfluss jener erwähnten duodezimalen Zählweise zuerst das Zahlwort für 12 und dann erst durch Angleichung dasjenige für 11 in dieser Weise gebildet wurde.

Es bleibt uns noch ein Zahlwort, das ebenso wie die Zahl, die es bezeichnet, in der Geschichte der Zahlen und Ziffern eine

[1]) Bei der württembergischen Post wird auf den Posteinlieferungsscheinen die obige Zahl geschrieben: dreihundert, vierzig sechs. In England lässt man häufig die Bezeichnung des Stellenwerts aus und spricht nur die Ziffern in ihrer Reihenfolge von links nach rechts, also z. B. 25639 = two, five, six, three, nine.

[2]) Die Verschiebung von k oder p in f kommt auch sonst vor.

[3]) Wegen der Auslassung des Worts zehn vgl. die analogen Fälle, die früher erwähnt wurden.

ganz besondere Rolle spielt: das Wort Null. Die Inder, von denen unser Zeichen für Null stammt, nannten sie *śūnya*, d. h. das Leere, weil die Stelle in der Ziffernreihe, deren Ausfüllung nicht vorhanden ist, leer bleiben musste.[1]) Als die Araber[2]) um die Mitte des 8ten Jahrhunderts begannen, die Werke der indischen Mathematiker zu übersetzen, gaben sie das Wort wörtlich mit *as-sifr* (das Leere) wieder. Der Italiener Leonardo von Pisa (um 1200), der in seinem Hauptwerk, dem Liber abaci (1202) eine freie und selbständige Darstellung des gesamten mathematischen Wissens der Araber gab, latinisierte dieses Wort mit *zephirum*. Ein anderer Übersetzer arabischer Werke, der gelehrte Mönch und spätere General des Dominikanerordens Jordanus Nemorarius, nannte die Null *cifra* (auch *circulus* und *figura nihili*). Aus *zephirum* entstand *çero* (bei Luca Paciuoli) und hieraus im 15. Jahrhundert franz. und ital. *zéro;* aus *cifra* entstand franz. *chiffre* und deutsch *Ziffer*. Daneben findet man, zum ersten Mal bei Luca Paciuoli, das Wort *nulla;* im Deutschen findet sich das Wort Null zum ersten Mal ums Jahr 1514. Null und Ziffer gehen nun längere Zeit neben einander her, und im Englischen (und Schwedischen) bedeutet heute noch *cipher* sowohl Zahlzeichen als Null; letzteres z. B. in der Redensart: „*he is a mere cipher*" (er ist eine reine Null). Im Deutschen aber verlor Ziffer allmählich die Bedeutung Null und erlangte, etwa im 17. Jahrhundert, einen weit allgemeineren Sinn.[3])

Nach dem Vorgang des Römers Boethius (480—524) nannte man in der Erinnerung an die alte Fingerrechnung bis weit ins Mittelalter hinein die Einer *numeri digiti;*[4]) die Zehner- und Stufenzahlen hiessen *numeri articuli;* alle übrigen *numeri compositi* oder *mixti*.

---

[1]) Dasselbe Wort bezeichnet den Himmel als das Leere.

[2]) Vgl. z. B. Cantor und Tropfke.

[3]) Diese Entwicklung zeigt, wie instinktiv die Null als der springende Punkt in der Reihe der sog. arabischen Zahlzeichen erkannt wurde, so dass das ursprünglich für sie allein geschaffene Wort zum gemeinsamen Namen für alle diese Zeichen wurde.

[4]) Daran erinnert noch heute das in engl. Rechenbüchern für die Einer übliche Wort *digits*.

II.

Es ist klar, dass jedes Volk die Zahlen dadurch schriftlich fixieren kann, dass es das gesprochene Zahlwort mit den bei ihm üblichen Buchstaben oder Zeichen wiedergibt. Aber ebenso klar ist, dass dieses natürliche Verfahren den Bedürfnissen der Praxis, namentlich den Anforderungen des Rechnens, nicht genügen konnte, und so finden wir bei allen Völkern Ziffern[1]), d. h. Zeichen oder Symbole für die Zahlbegriffe. Diese den Buchstaben des Alphabets häufig durchaus fremden Zeichen dürfen nicht etwa als Stellvertreter der Zahlwörter oder als Zeichen für die Laute angesehen werden, denn ihre Bildung ist im allgemeinen von der sprachlichen Bildung dieser Zahlwörter verschieden; sondern die Ziffernschrift ist ein typisches Beispiel einer Ideen- oder Begriffs-Schrift. Da man heute allgemein annimmt, dass jede natürlich gewordene Schrift sich aus einer Bilderschrift entwickelt hat, die in der Praxis stilisiert und vereinfacht wurde, so könnte man die Ziffern als Reste jener alten Hieroglyphen ansehen; wenn man aber die Entwicklung der Ziffern bei den Völkern, die eine Buchstabenschrift besitzen, verfolgt, so wird sich diese Ansicht kaum halten lassen. Es wäre sehr reizvoll, in diesem Zusammenhang Erörterungen über das Wesen und die Bedeutung der Schrift im allgemeinen und der Ziffernschrift im besonderen anzustellen; doch müssen wir an dieser Stelle darauf verzichten[2]) und uns mit wenigen Bemerkungen begnügen. Wenn man gesagt hat[3]), dass die Schrift sich zur Sprache verhalte, wie eine grobe Skizze zu einem mit der grössten Sorgfalt in Farben ausgeführten Gemälde, so gilt für die Ziffernschrift gerade die entgegengesetzte Behauptung. Diese Begriffsschrift macht es möglich, in grösster Kürze und klarster Anschaulichkeit mit sehr wenigen willkürlichen Zeichen alle zu-

[1]) Wer sich genauer über die Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker unterrichten will, den verweise ich auf meine Schrift: *Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit.* Math. Bibl. Bd. 1. Leipzig (Teubner) 1912. Daselbst sind auch die wichtigsten dieser Ziffern abgebildet.

[2]) Vgl. z. B. Hankel a. a. O. Seite 23 ff., sowie E. Löffler, a. a. O. Seite 7 ff.

[3]) H. Paul, Prinzipien der Sprachgeschichte. 3. Aufl. Seite 351.

sammengesetzten Begriffe innerhalb eines bestimmten, allerdings beschränkten Ideenkreises darzustellen mit Hilfe von 4 einfachen Arten der Verknüpfung, nämlich den 4 arithmetischen Grundoperationen. Ausgehend von dem Gedanken, dass die Buchstabenschrift für die abstrakte Wissenschaft nicht völlig geeignet ist, da die Bedeutung der Wörter schwankt, hat Leibniz eine von der Sprache unabhängige Begriffsschrift schaffen wollen, deren Begriffe mit Hilfe von wenigen konventionellen Zeichen für gewisse Elementarbegriffe unzweideutig dargestellt werden könnten. Dass ihm dies nicht gelang, liegt daran, dass die Zahl der philosophischen Grundbegriffe zu gross und die Arten der gegenseitigen Verknüpfung zu mannigfach sind. Immerhin möge aber auf den in neuerer Zeit durch G. Boole begründeten und von E. Schröder u. a. vervollkommneten Logikkalkül[1]) hingewiesen werden, der rein logische Operationen mit Hilfe einer besonderen Begriffsschrift der mathematischen Behandlung zugänglich gemacht hat.

Es ist wahrscheinlich, dass die ältesten Zahlzeichen ebenso alt oder älter sind als die ältesten Schriftzeichen, und dass die Praxis und die Not die Triebfeder dieser geistigen Schöpfung gewesen sind. Aber da wir fast gar keine Mitteilungen über etwaige Zahlzeichen bei den unkultivierten Völkern unserer Zeit besitzen, so ist es auch nicht möglich, eine allgemein anerkannte und feststehende Theorie über die Entstehung der Zahlzeichen aufzustellen; nur soviel ist jedenfalls sicher, dass die theoretischen Forderungen, die wir oben für ein ideales Ziffernsystem angedeutet haben, erst im Laufe einer langen Entwicklung und teilweise nur durch bewusste Spekulation allmählich erfüllt worden sind. Deshalb begnügen wir uns mit diesem Hinweis auf die noch ungelösten Probleme und machen uns an die Aufgabe, die Ziffernsysteme einiger wichtigen Kulturvölker zu skizzieren.

Die älteste einigermassen umfangreiche mathematische Literatur, die wir besitzen, ist die der Ägypter. Die älteste Schrift dieses Volks war die aus kleinen Abbildungen von sinnlich wahrnehmbaren Gegenständen bestehende Hieroglyphenschrift; im Lauf der Zeit entstand hieraus (etwa ums Jahr 2500 v. Chr.)

[1]) Vgl. z. B. E. Schröder, Der Operationskreis des Logikkalküls. Leipzig 1877.

die hieratische Schrift, welche vermutlich eine zum raschen Schreiben bequemere Form der Hieroglyphen ist; aus dieser ging dann im 7. Jahrhundert v. Chr. durch denselben Prozess der Abrundung und Vereinfachung die sogenannte demotische Schrift hervor. Die hieroglyphischen Zahlzeichen wurden auf Napoleons Zug nach Ägypten in einem Grab bei den Pyramiden von Gizeh durch Jomard aufgefunden und 1812 bekannt gemacht. Die Erklärer sind nicht ganz einig darüber, was die einzelnen Zeichen[1]) vorstellen sollen. Das Zeichen für 1 ist ein senkrechter Strich (wie übrigens bei fast allen Völkern), für 10 eine Art Hufeisen, für 100 ein Palmstengel, für 1000 eine Lotosblume (das Symbol der Fruchtbarkeit!), für 10000 ein deutender Finger, für 100000 eine Kaulquappe, für 1000000 ein knieender Mann, der die Hände über dem Kopf zusammenschlägt. Um mit diesen auf dem dezimalen System beruhenden Zeichen Zahlen zu schreiben, wurde das Zeichen der Einheit einer jeden Ordnung so oft wiederholt als es vorkommen sollte; zur leichteren Übersicht gruppierte man die Zeichen so, dass nicht mehr als höchstens vier Zeichen derselben Art dicht nebeneinander geschrieben wurden. Was die Reihenfolge der Zeichen bzw. Gruppen betrifft, so gilt, wie übrigens bei sämtlichen Völkern, das zuerst von Hankel bemerkte Gesetz der Grössenfolge[2]), wonach bei allen additiv durch Juxtaposition geschriebenen Zahlen stets die höhere Stufe (bzw. grössere Gruppe) der niederen (im Sinne der Schrift) vorangeht. Da nun die Hieroglyphentexte teils von links nach rechts, teils umgekehrt geschrieben sind, so findet man auch bei den Zahlen die entsprechende Verschiedenheit der Stellung.

Die hieratischen Zahlzeichen wurden von Champollion in den Jahren 1824 und 1826 entziffert aus den ägyptischen Sammlungen in Turin und im Vatikan. Die hieratische Schrift hat nicht bloss für die Stufenzahlen, sondern für alle Einer, Zehner, Hunderter und Tausender besondere Zeichen und spart deshalb bedeutend an Raum; dafür werden allerdings an das Wissen des Rechnenden höhere Anforderungen gestellt. Da die hieratische Schrift linksläufig ist, so steht stets das höhere Zahlzeichen rechts

[1]) Vgl. E. Löffler a. a. O. Seite 34.
[2]) Hankel a. a. O. Seite 32.

vom niedrigeren. Ein ähnliches Ziffernsystem findet sich in der demotischen Schrift. Die wichtigste unter den bis jetzt übersetzten und veröffentlichten Schriften der Ägypter ist das aus der Zeit 2200—1700 v. Chr. stammende sogenannte Rechenbuch des Ahmes, welches sich unter dem Namen „Papyrus Rhind" im Britischen Museum befindet; es ist in althieratischer Schrift geschrieben und wurde von Aug. Eisenlohr übersetzt und herausgegeben. Man findet in diesem Werk[1]) die hieroglyphischen und hieratischen Zahlzeichen abgebildet.

Wie im Niltale, so stand auch in den Tälern des Euphrat und Tigris, bei den Babyloniern, die Mathematik schon früh in grosser Blüte. Die zahlentheoretischen Kenntnisse dieses Volkes, die wir aus den erwähnten Täfelchen von Senkereh und Nippur kennen, waren schon erstaunlich gross, und es ist bekannt, dass auch sein astronomisches Wissen nicht unbedeutend war; stammt doch unsere sexagesimale Kreis- und Stundeneinteilung von diesem merkwürdigen Volk, auf dessen hochentwickelte Kultur die jüngsten Ausgrabungen der Universität von Pennsylvanien ein glänzendes Licht geworfen haben.[2]) Die Schrift der Babylonier war ursprünglich eine auf Stein oder Bronze gemeisselte Bilderschrift. Als später Tontäfelchen zum Schreiben benützt wurden, war es sehr schwierig, diese Bilder leicht und rasch einzuritzen. Dies führte zu einer Unterdrückung aller überflüssigen Striche, und daraus entstanden die in Winkeln aneinander stossenden Zeichen, welche zu dem Namen Keilschrift Veranlassung gegeben haben; sie wird von links nach rechts gelesen. Wir haben bei den Babyloniern ein dezimales und ein sexagesimales Ziffernsystem zu unterscheiden. Beim ersten wird die Eins durch einen Vertikalkeil 𒁹, die 10 durch einen liegenden nach rechts geöffneten Winkelhaken 𒌋, 100 durch einen Horizontal- und Vertikalkeil neben einander 𒁹𒌋 dargestellt. Die Bezeichnung der Zahlen unter 100 geschah wie bei den Ägyptern durch Juxtaposition, wobei, der Raumersparnis halber auch mehrere (bis zu drei) Keile oder Winkelhaken über einander geschrieben wurden. Von

[1]) A. Eisenlohr, Ein mathematisches Handbuch der alten Ägypter. Leipzig 1877. Vgl. auch E. Löffler, a. a. O. Seite 36.

[2]) Vgl. Hilprecht, „Die Ausgrabungen im Bêl-Tempel zu Nippur", Leipzig 1903 und „The Babylonian Expedition" Philadelphia.

100 an tritt zu diesem additiven ein multiplikatives Verfahren, indem nämlich links von dem Zeichen für 100 die Anzahl der Hunderter geschrieben wurde, während eine kleinere Zahl rechts von 100 nach dem Gesetz der Grössenfolge additiven Sinn hatte. Das Zeichen für 1000 bedeutet 10 mal 100 , wird aber nun selbst als neues und selbständiges Zeichen verwendet, so dass es wieder multiplikative Faktoren auf seiner linken Seite zu sich nehmen konnte. Die Zahlen 10000 und 100000 werden also durch $10 \cdot 1000$, bzw. $100 \cdot 1000$ dargestellt, so dass für sie keine besonderen Zeichen existieren. Umso mehr fällt es auf, dass die Babylonier grössere Zahlen durchaus nach dem dezimalen Prinzip schrieben, also die Zahl 136000 nicht als 136.1000, sondern als $100000 + 3 \cdot 10000 + 6 \cdot 1000$ darstellten.

Neben diesem dezimalen besassen die Babylonier noch ein sexagesimales Ziffernsystem, das namentlich zu wissenschaftlichen Zwecken benützt wurde, und das oft mit dem dezimalen vermischt vorkommt. Das Sexagesimalsystem ist nun verbunden mit dem Positionssystem, indem nämlich der Vertikalkeil am weitesten rechts die Zahl 60, um eine Stelle nach links gerückt, die Zahl 60^2 u. s. w. bedeutete, so dass folgende Reihe von Zahlen entstand:[1])

Diese Tatsache wurde von dem englischen Assyriologen Hincks 1854 entdeckt und kurz darauf durch die Auffindung der erwähnten Täfelchen von Senkereh, welche die Quadrat- und Kubikzahlen von 1 bis 60 enthalten, bestätigt. In neuester Zeit hat H. V. Hilprecht die mit dem Tempel des Bêl in Nippur verbundene Bibliothek blossgelegt und dabei eine Menge von Multiplikations- und Divisionstafeln, von Tafeln der Quadratzahlen und Quadratwurzeln aus dem 2ten und 3ten vorchristlichen Jahrtausend gefunden, die alle nach dem Positionssystem in sexagesimaler Schreibweise geschrieben sind. So würde z. B. der Text Nro. 5 auf Tafel 3 des am Anfang dieser Arbeit er-

[1]) Diese Reihe wurde sogar noch nach rechts hin fortgesetzt, so dass also Sexagesimalbrüche, im Positionssystem geschrieben, entstanden.

wähnten Werkes von Hilprecht, in unsere Zahlzeichen transkribiert, so aussehen:

18 mal 1 = 18	mal 6 = 1·48 (d. h. 1 mal 60 + 48)
mal 2 = 36	mal 7 = 2· 6 (d. h. 2 mal 60 + 6)
mal 3 = 54	mal 8 = 2·24 (d. h. 2 mal 60 + 24)
mal 4 = 1·12 (d. h. 1 mal 60 + 12)	mal 9 = 2·42 (d. h. 2 mal 60 + 42)
mal 5 = 1·30 (d. h. 1 mal 60 + 30)	mal 10 = 3· (d. h. 3 mal 60)

u. s. w. (es wird fortgesetzt bis 18 mal 60 = 10·8, d. h. 10 . 60 + 8 . 60). Da ein Zeichen für Null fehlt, hat die Entzifferung viel Scharfsinn erfordert, und es ist ein Genuss, Hilprechts geistreichen Kombinationen zu folgen und seine erstaunlichen Resultate kennen zu lernen, die darin gipfeln, dass Plato die oben erwähnte Zahl 60^4 von den Babyloniern kennen gelernt haben muss. In wesentlich späterer Zeit scheinen die Babylonier auch ein Zeichen für fehlende Einheiten, (nämlich zwei kleinere übereinander stehende Winkelhaken), also das was wir eine Null nennen, gekannt zu haben.

Wir müssen es uns versagen, an dieser Stelle näher auf diese interessanten Entdeckungen einzugehen, wie wir auch die noch lange nicht geklärte Frage über die Entstehung des Sexagesimalsystems, an deren Lösung sich Mathematiker und Assyriologen eifrig beteiligen, nur erwähnen können. Man findet Einzelheiten bei Hilprecht, in den erwähnten Aufsätzen von G. Kewitsch und Ed. Hoppe, sowie in Cantor's Geschichte der Math. Bd. I, Seite 24 ff. (3te Aufl.)

Unsere eigene Ansicht[1]) gipfelt darin, dass die Sumerer ursprünglich das natürliche dezimale Ziffernsystem besassen, in welchem die Grundelemente der Schrift, nämlich 𒁹 und 𒌋, die Zahlen 1 und 10 bedeuteten. Naturgemäss war ihr Zahlenbereich anfangs beschränkt; aber bei ihrer spekulativen Anlage begannen die sumerischen Priester frühzeitig, sich mit Zahlenspielereien zu beschäftigen, und sie bemerkten, dass die Zahl 60 diejenige Zahl unter 100 ist, welche die meisten der niederen Zahlen, nämlich 2, 3, 4, 5, 6 als Faktoren enthält. Diese Entdeckung veranlasste sie, ein für wissenschaftliche Zwecke bestimmtes Ziffern-

[1]) Vgl. E. Löffler, Die arithmetischen Kenntnisse der Babylonier und das Sexagesimalsystem. Arch. d. Math. u. Phys. (3) **17**, 135—144 (1911). Vgl. jedoch auch G. Kewitsch, ibid. (3) **18**, 165—168. (1911).

system mit der Grundzahl 60 zu schaffen. Als die Semiten im Zweistromlande eindrangen, nahmen sie die arithmetischen Kenntnisse der Sumerer auf und pflegten sie in ihren Priesterschulen weiter. Für die Zwecke des täglichen Lebens aber benützten sie die dezimale Schreibweise, die mit ihrem eigenen Zahlensystem übereinstimmte.

Bei Aegyptern und Babyloniern waren die Zahlzeichen den übrigen Schriftzeichen ähnlich, da sie keine Buchstabenschrift hatten. Wenden wir uns nun zu den Griechen! Sie hatten ihre Buchstaben von den Phönikern und diese gelten als Erfinder der Buchstabenschrift; die 22 phönikischen Buchstaben sind vielleicht aus den hieratischen Zeichen der Aegypter hervorgegangen. Den Ursprung der phönikischen Buchstabenschrift kann man etwa ins Jahr 1000 v. Chr. setzen[1]), und etwa ums Jahr 890 v. Chr. mag sich das griechische Alphabet vom phönikischen abgezweigt haben. Die älteste Zahlbezeichnung der Griechen geschah durch die Anfangsbuchstaben der Zahlwörter, sodass I = 1 (wahrscheinlich nur ein senkrechter Strich) Π = 5, Δ = 10, Η = 100, Χ = 1000, Μ = 10000 war. Grössere Zahlen wurden, wie bei den Aegyptern und Babyloniern, durch einfache Juxtaposition gebildet. Jede einzelne Stufenzahl wurde aber höchstens 4mal wiederholt; anstatt ein Zeichen 5mal zu wiederholen, wurde es mit multiplikativer Wirkung in das Zeichen Π hineingeschrieben, so dass also $\left[\Delta\right.$ = 50; $\left[\mathrm{H}\right.$ = 500; $\left[\mathrm{X}\right.$ = 5000 war. Diese Zahlzeichen sind uns von einem byzantinischen Grammatiker Herodian (200 n. Chr.) überliefert und heissen deshalb die herodianischen Zeichen; ihre Spuren sind bis in die ältesten Zeiten zurück zu verfolgen.

Etwa vom Jahr 500 v. Chr. an kommt eine ganz andere Zahlenbezeichnung auf: es werden sämtliche Buchstaben des Alphabets benutzt. Diese Zuordnung von Zahlwerten und Buchstaben ist eine eigentümliche griechische Erfindung, die den Phönikern noch unbekannt war, und die wahrscheinlich später von den Griechen zu den semitischen Völkern (Hebräern, Syrern

[1]) Vgl. Kirchhoff, Studien zur Geschichte des griechischen Alphabets. 3. Aufl. Berlin 1877, sowie Gardthausen, Ursprung und Entwicklung der griechisch-lateinischen Schrift. Germanisch-romanische Monatsschrift 1, 273 ff. (1909) und Larfeld, Handbuch der griechischen Epigraphik, Seite 330 ff. Leipzig 1907.

u.s.w.) überging. Bekanntlich bereicherten die Griechen das nur bis τ reichende phönikische Alphabet, das sie in der bei den Phönikern üblichen Anordnung übernahmen, um die 5 letzten Buchstaben υ, φ, χ, ψ, ω. Dafür verschwanden aber drei der alten Buchstaben[1]), die dem Geist der griechischen Sprache nicht angemessen waren, so dass schliesslich ums Jahr 400 v. Chr. das bekannte jonische Alphabet mit seinen 24 Buchstaben übrig blieb. Die 3 ausgefallenen Buchstaben sind das alte Digamma ϛ (phön. Vav, griech. βαῦ), welches zwischen ε und ζ, das Qoppa ϙ, welches vor dem ρ, und das Zade Ϻ, welches zwischen π und ϙ stand, so dass also zwischen π und ρ zwei Buchstaben ausgefallen sind. Das Zade fiel zuerst, da neben dem Schin (d. h. dem griech. Σ) kein zweiter S-Laut nötig war. Als aber im 8ten Jahrhundert v. Chr. die Griechen von dem herodianischen Ziffernsystem dazu übergingen, die Buchstaben in ihrer alphabetischen Reihenfolge als Ziffern zu benützen, waren Vav und Qoppa noch an ihrer alten Stelle vorhanden. Die 26 Buchstaben wurden nun bekanntlich derart als Zahlzeichen benützt, dass die Zahlen 1 bis 9 (die Pythmenes) durch α bis ϑ, die Zahlen 10, 20, u.s.w. bis 90 durch τ, ϰ u.s.w. bis ϙ, die Zahlen 100, 200 usw. bis 800 durch ρ, σ u.s.w. bis ω dargestellt wurden. Um nun auch für 900 ein Zeichen zu haben, wurde das altertümliche noch nicht ganz vergessene Zade herbeigezogen, aber nicht an seine ursprüngliche, sondern an die letzte Stelle gesetzt, wobei die Form Ϻ in ϡ überging. Die Form Sampi ͱ ist jüngeren Datums und findet sich weder auf Münzen noch auf Inschriften. Als dann das jonische Alphabet zur Herrschaft gelangte, behielt man zur Zahlenschreibung die 3 Fremdlinge bei und bezeichnete sie als Episemen, so dass also schliesslich das folgende Ziffernsystem vorhanden war:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
α	β	γ	δ	ε	ϛ	ζ	η	ϑ
10	20	30	40	50	60	70	80	90
ι	ϰ	λ	μ	ν	ξ	ο	π	ϙ
100	200	300	400	500	600	700	800	900
ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω	ͱ

[1]) Wir sehen hier natürlich ab von den übrigen Veränderungen, welche die phönikischen Buchstaben, namentlich die 4 Sibilanten, durchmachten, da sie für unsern Zweck nicht in Betracht kommen. Vgl. die angeführte Literatur.

Die Bildung irgend einer Zahl aus diesen Ziffern geschah additiv nach dem Gesetz der Grössenfolge; zur Unterscheidung von den Worten des Textes wurde über jede Zahl ein wagrechter Strich gesetzt, so dass z. B. $\overline{\omega\xi\zeta}$ die Zahl 867 bedeutete. Offenbar reichen die 27 Buchstaben zur Darstellung aller Zahlen bis 999; die Zahlen 1000, 2000 u.s.w. bis 9000 wurden durch die links unten mit einem kommaähnlichen Strich versehenen Pythmenes dargestellt, die Zahl 10000 aber gewöhnlich nicht durch $\iota,$ sondern meist durch M oder Μυ (von μύρια); bei mehreren Myriaden wird der Faktor, mit welchem 10000 zu multiplizieren ist, links, rechts oder über dieses Zeichen gesetzt, das zuweilen aber auch ausgelassen und bloss durch einen Punkt angedeutet wurde. Beispiel 23 587 = $\overline{\beta M\, ,\gamma\phi\pi\zeta}$ oder $\overline{\beta.\, ,\gamma\phi\pi\zeta}$. Ein besonderes Zahlzeichen für unsere Null hatten die Griechen nicht. Man ist wohl auf den ersten Blick versucht, zu glauben, dass dieses griechische Ziffernsystem gegenüber dem herodianischen einen Rückschritt bedeutet; denn erstens waren 28 verschiedene Zahlzeichen einzuprägen, zweitens waren leicht Verwechslungen der Zahlen mit Wörtern möglich und drittens scheint sich das Rechnen mit diesen Ziffern, namentlich im Vergleich mit dem unsrigen, äusserst schwerfällig zu gestalten. Damit hängt es vielleicht zusammen, dass die mathematisch so hochbegabten Griechen auf dem Gebiet der Arithmetik[1]) und Algebra weniger geleistet haben als auf dem der Geometrie. Allein man muss sich bei der Beurteilung derartiger Fragen vor dem Fehler hüten, dass man die Hilfsmittel der Alten nur nach ihrer Aehnlichkeit mit den unsrigen beurteilt und das gering achtet, was wir selbst für unpraktisch halten, weil wir es nicht kennen und nicht genügend verstehen. Bei genauer Betrachtung zeigen die griechischen Ziffern in der Tat manche Vorzüge, wenngleich wir ihnen kein so hohes Lob zu spenden vermögen, wie dies Max Simon tut[2]). Wir müssen jedoch die genauere Erörterung dieser Frage sowie auch derjenigen, warum wohl die Griechen ihre alte Ziffernschrift durch dieses

[1]) Die oben erwähnten Untersuchungen des Archimedes und des Apollonius beziehen sich nur auf die Zahlwörter, nicht auf die Zahlzeichen; doch scheint es, als ob Apollonius den wesentlichen Gedanken des Positionssystems schon geahnt hätte, da er mit den *Pythmenes* rechnet wie wir mit den Einerzahlen.

[2]) A. a. O. Seite 281 ff.

System ersetzt haben, übergehen, da sie uns auf das Gebiet der griechischen Rechenkunst führen würden; damit würden wir aber die diesem Vortrag gesteckten Grenzen überschreiten[1]). Aus denselben Gründen verzichten wir auch auf die Darlegung der Bezeichnung von Brüchen bei den verschiedenen Völkern.

Die Italiker[2]) haben die Schrift von den Griechen bekommen, und zwar waren es wohl die hellenischen Kolonien am Golf von Neapel, welche sie den Etruskern und Römern übermittelten (etwa im achten Jahrhundert v. Chr.) Damals hatten die Griechen noch das herodianische Ziffernsystem, und daraus folgt schon, dass die Italiker den Zahlenwert der Buchstaben nicht übernommen haben können. Das war aber auch gar nicht nötig, denn die Italiker hatten wohl schon lange vor der Herübernahme des hellenischen Alphabets besondere Zahlzeichen, die sich mit nur geringen Veränderungen bei den Etruskern, Umbrern, Oskern und Lateinern in gleicher Weise vorfinden, die sich trotz ihrer grossen Mängel und ihrer entsetzlichen Schwerfälligkeit durch das ganze Altertum und Mittelalter hindurch erhalten haben und selbst durch die indischen Ziffern nicht ganz verdrängt worden sind; wir meinen die sogenannten römischen Ziffern. Ueber die Entstehung dieser merkwürdigen Zeichen, die heute genau wie lateinische Buchstaben aussehen, sind schon zahlreiche Theorien aufgestellt worden; eine der bekanntesten ist diejenige von Mommsen[3]), der I, V und X als Nachbildungen des Fingers, der Hand und der Doppelhand erklärt und die ältesten Zeichen für 50, 100 und 1000 aus den drei Aspiranten χ, ϑ und φ ableitet, für welche die Römer keine Verwendung hatten. Durch das oben Gesagte ist diese Ansicht schon widerlegt; dazu kommt aber noch, dass diese 3 Buchstaben in ihrer Reihenfolge umgestellt wären, und dass die Etrusker sie beibehalten haben und trotzdem dieselben Zahlzeichen besitzen. K. Zangemeister[4])

[1]) Vgl übrigens Cantor, a. a. O. Bd. I, S. 129 und E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme etc. S. 46.

[2]) Vgl. Gardthausen a. a. O. S. 337.

[3]) Unterital. Dialekte, Leipzig 1850, Seite 19 und 34.

[4]) In den Sitzungsberichten der Berliner Akademie vom 10. Nov. 1887; übrigens wurde seine Theorie von Mommsen nicht anerkannt, und Gundermann hat in seinem dem Grossherzog von Hessen gewidmeten Programm der Universität Giessen (1899) „Die Zahlzeichen“ eine weitere Theorie aufgestellt.

hat zuerst auf diese Widersprüche aufmerksam gemacht und folgende geistreiche Theorie aufgestellt und begründet. Die Zahlen 1 bis 9 wurden ursprünglich durch ebensoviele senkrechte Striche dargestellt; diese natürlichste Art, Zahlen zu bezeichnen, findet sich bei fast allen Völkern und bedarf keiner Erklärung. Die weiteren Ziffern bis 1000 erklären sich alle durch die sogenannte *decussatio*, d. h. durch Kreuzung mit einer weiteren Linie, die eine verzehnfachende Wirkung hat So entsteht X, und ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht ist das Vorkommen von

für 20, 30, 40. Das Zeichen für 5 entstand durch Halbieren von X: die Etrusker benützten die untere Hälfte V, die Römer zogen die obere vor V; bei den Oskern findet sich beides. Um 10 mal 10 auszudrücken, verwendete man einen weiteren Strich und erhielt das Zeichen ⋆, das bei den Etruskern durch Stilisierung in CIↃ überging und im Lateinischen schliesslich zu C vereinfacht wurde, wobei wohl der Anfangsbuchstabe von *centum* einen Einfluss ausübte. Die Halbierung von ⊢ ergibt das Zeichen für 50, nämlich im Etruskischen ↑, im Lateinischen ⊥; dieses Zeichen ging durch Stilisierung in ⊥, dann in ⅃ und schliesslich durch Assimilierung an den Buchstaben L in L über. Aus X entstand durch zweifache decussatio das Zeichen (⋉) für 1000, das dann in ∞ und in ⓘ[1]) überging, wobei vielleicht die griechischen Schreibmeister an ihr Phi dachten. Durch Halbierung des Zeichens für 1000 und Assimilierung an den Buchstaben D entstand D = 500; das erst in republikanischer Zeit aufgekommene M hat nichts mit diesen Zeichen zu tun, sondern ist der Anfangsbuchstabe des Worts *mille*. Es haben also schliesslich alle Ziffern Buchstabenform angenommen, obwohl sie ihrem Ursprung nach ausser allem Zusammenhang mit den Buchstaben standen.

Als sich, bedeutend später erst, das Bedürfnis nach Zeichen für grössere Zahlen bemerkbar machte, ging man von dem Zeichen IↃ für 500 aus, gewann daraus IↃↃ = 5000 und IↃↃↃ = 50000; fügt man auch links von dem Vertikalstrich die zwei bzw. drei Bögen an, so entstehen die Zeichen für 10000 und

[1]) Belege für das Vorkommen aller dieser Formen findet man in der angeführten Abhandlung von Zangemeister und bei Gardthausen, Die römischen Zahlzeichen. Germ.-roman. Monatschrift 1. (1909).

100000, die in mannigfacher Stilisierung vorkommen. Da aber diese Bezeichnung sehr umständlich ist und leicht Fälschungen zulässt, so kam gegen das Ende der Republik die vertausendfachende Wirkung des Horizontalstrichs auf, so dass $\overline{X} = 10000$, und $\overline{C} = 100000$ war. Wendet man auf $\overline{X}$ die alte decussatio zweimal an, so erhält man die sehr spät entstandene Form $\boxed{X}$ für 10^6. Ausser dieser multiplikativen Wirkung des Horizontalstrichs ist für die römische Zahlbezeichnung noch charakteristisch die subtraktive Wirkung einzelner Zeichen, wenn sie links von einer grösseren Zahl stehen, während sie rechts nach dem Gesetz der Grössenfolge natürlich additive Bedeutung haben.

Es wäre nun interessant, die Ziffernsysteme der Alten einer Vergleichung zu unterwerfen und die Beziehungen zwischen der sprachlichen und schriftlichen Darstellung zu untersuchen. Aber eine solche Untersuchung würde uns viel zu weit führen[1]); wir weisen nur darauf hin, dass die erörterten Ziffernsysteme vom mathematischen Standpunkt aus von sehr verschiedenem Wert sind, indem nämlich die Vielfachen der Stufenzahlen teils mit willkürlichen, unsystematischen Zeichen (Griechen, Semiten, hieratische Zeichen der Aegypter), teils systematisch mit Hilfe der Addition (hieroglyphische, keilschriftliche, römische, herodianische Ziffern) oder der Multiplikation (Keilschrift) oder mit Hilfe von besonderen an die Pythmenes angehängten Zeichen (Griechen bei ‚κ', Römer bei $\overline{X}$, Semiten, die diakritische Punkte verwenden) dargestellt werden. Was die zweite Untersuchung anbelangt, so sei nur daran erinnert, dass bei einem und demselben Volk die sprachliche und schriftliche Darstellung der Zahlen häufig durchaus nicht parallel gehen, sondern dass Sprachsonderbarkeiten eines Volks bei einer Zahl sich zuweilen in seiner Zahlengraphik an anderer Stelle (vergl. lat. IV und undeviginti!) oder in derjenigen eines andern Volks wiederfinden. Nur darin zeigen Sprache und Schrift eine gewisse Aehnlichkeit, dass bei beiden das dezimale System vorherrscht.

Dass die bisher behandelten Ziffernsysteme mancherlei Mängel aufweisen und den früher angedeuteten idealen Forderungen nicht in allen Punkten entsprechen, das bemerkt jeder, der in ihrer Bezeichnungsweise auch nur die kleinste Rechnung auszuführen ver-

[1]) Vgl. E. Löffler, a. a. O. Seite 86 ff.

sucht. Das heute bei den meisten Kulturvölkern gebräuchliche dezimale Ziffernsystem, das bekanntlich auf dem schon von den Babyloniern benützten Prinzip der Position beruht, ist jedoch absolut vollkommen. Infolge der allgemeinen Anwendung desselben ist das Rechnen, das früher nur die auserwählten Geister erfassen konnten, und das noch im Mittelalter erst auf der Universität gelehrt wurde, zu einem elementaren Volksschulfach geworden. Bei seiner wunderbaren Einfachheit denken wir gewöhnlich gar nicht daran, was für ein Genie dazu gehörte, um auf diese Idee der Position zu kommen und ein besonderes Zeichen für das Nichts zu erfinden.

Wir haben schon oben von dem auf sexagesimaler Grundlage aufgebauten Positionssystem der Babylonier gesprochen und auch erwähnt, dass (im 3. vorchristlichen Jahrhundert etwa) sich auch ein (allerdings selten gebrauchtes) Zeichen der Andeutung einer Lücke bei ihnen findet. Das Volk aber, bei dem der Gedanke der Position sich zu vollständiger Klarheit durchrang, bei dem besondere Zeichen zur Darstellung aller Zahlen, die kleiner als die erste Stufenzahl sind, erfunden wurden, bei dem endlich der Begriff der Null eine weitgehende Vertiefung erfuhr und ein besonderes allgemein benütztes Zeichen erhielt, sind die Inder. Über ein Eindringen babylonischer Mathematik in Indien wissen wir nichts, und so könnte es auch sein, dass wir es bei den Indern mit einer selbsständigen Nacherfindung der Brahmanen zu tun haben, umsomehr als ja das indische Positionssystem auf dezimaler Grundlage ruht. Sei dem wie ihm wolle[1]), die Verbreitung des Positionssystems in Indien mag jedenfalls dadurch vorbereitet und begünstigt worden sein, dass die Inder, wie schon erwähnt, für jede dezimale Stufenzahl ein besonderes Wort hatten; wurden diese Stufennamen unterdrückt, so waren nur noch die Einer (die Pythmenes) nach einander zu schreiben und das Prinzip des Stellenwerts bot sich fast von selbst dar. Allerdings ist diese Ansicht durch nichts erwiesen; der Gedanke des Stellenwerts ist möglicherweise auch aus einer Art Kolumnenrechnung hervorgegangen; ein sicheres Urteil lässt sich nicht fällen, da die historischen Daten fehlen; vielleicht geben die

[1]) Die hier sich darbietenden Fragen werden ausführlich behandelt in meinem Aufsatz: „Über die Entstehung und Ausbreitung unserer Ziffern" im vorliegenden Heft dieser „Mitteilungen."

zahlreichen, noch nicht veröffentlichten Sanskrittexte mathematischen Inhalts einst darüber Auskunft.

Die Frage nach der Herkunft und Entwicklung der Zeichen selbst ist ebenfalls noch nicht endgültig entschieden; wir verweisen in Bezug auf diese Frage auf unseren zweiten, eben erwähnten Aufsatz in diesen „Mitteilungen."

Die letzte Frage endlich, auf welche Weise die indischen Ziffern zu uns gekommen sind, hat zu einer ganzen Anzahl von Hypothesen Anlass gegeben, die einander zum Teil direkt widersprechen. Mathematiker und Philologen haben sich eifrig an diesem Streit beteiligt, da er sich hauptsächlich um eine Stelle in der sogenannten Geometrie des Boethius dreht. Die ältesten Handschriften dieses Werks, die aus dem 11. Jahrhundert stammen, behaupten, dass gewisse seltsame Zahlzeichen, die mit unseren Ziffern grosse Ähnlichkeit haben, schon den Pythagoreern bekannt gewesen seien. Würde diese Stelle wirklich von Boethius herrühren, so wären also im 6. Jahrhundert die indischen Ziffern im Abendland bekannt gewesen und würden griechischer Herkunft sein. Es ist aber namentlich von Weissenborn und Heiberg mit rein philologischen Gründen jene Stelle als unecht nachgewiesen worden. Trotzdem bestehen heute noch zwei verschiedene Ansichten über die Frage, deren Kern wir kurz skizzieren[1]). Nach Woepcke und Cantor sind im II. Jahrhundert nach Chr. indische Ziffern ohne Null nach Alexandrien gekommen; sie wurden von den Neupythagoreern aufgenommen und im Westen Afrikas, in Spanien und vielleicht bis nach Rom verbreitet. Im VIII. Jahrhundert erhielten die Ostaraber direkte Kenntnis von den indischen Ziffern samt der Null, welch letztere von den Westarabern den ihnen schon bekannten 9 Ziffern (den sog. Gubârziffern) zugefügt wurden. Die andere Ansicht (Friedlein[2]) und Hankel[3])) leugnet die Beteiligung der Neupythagoreer an

[1]) Vgl. die Darstellung bei Treutlein, Geschichte unserer Zahlzeichen. Progr. Karlsruhe 1875 (von math. Seite) und bei Heiberg, Philologus Bd. 43, Seite 507 ff., sowie Weissenborn: Zur Boethiusfrage. Eisenach 1880 und „Zur Geschichte der Einführung der jetzigen Ziffern in Europa." Berlin 1892 (von philolog. Seite).

[2]) Friedlein, Gerbert, die Geometrie des Boethius und die indischen Ziffern. Erlangen 1861.

[3]) a. a. O. S. 329.

der Verbreitung und nimmt an, dass die west- und ostarabischen Ziffern einfach Varianten der indischen Ziffern sind, die den Arabern um die Mitte des achten Jahrhunderts aus Indien zukamen. Wie dem aber auch sei, die historisch bekannten Tatsachen sind die folgenden: 1) Die Araber haben, nach ihrem eigenen Zeugnis, die Ziffern und die Positionsarithmetik von den Indern gelernt. 2) Wir besitzen aus dem Jahr 662 nach Chr. eine Schrift[1]) des Syrers Severus Sebokt, aus der hervorgeht, dass um diese Zeit die 9 Ziffern und die Rechnung mit ihnen in dem syrischen Kloster Kennesrin am Euphrat bekannt waren, und dass die Syrer ihre Erfindung ebenfalls den Indern zuschrieben. 3) Im 10. und 11. Jahrhundert treten im Abendland ganz eigentümliche Divisions- und andere Rechenmethoden auf, die auf dem sogenannten Abacus vollzogen wurden. Der Abacus war ein Brett, das durch vertikale Linien in Kolumnen eingeteilt wurde, die der Reihe nach von rechts nach links mit den Rangzahlen I, X, C etc. überschrieben waren. In diese Kolumnen setzte man kleine Marken aus Horn oder Holz, auf denen die Zahlen 1 bis 9 dargestellt waren durch Zeichen, die einerseits mit den Gubârziffern der Westaraber, andererseits mit unseren indischen Ziffern die grösste Ähnlichkeit haben. Mit Hilfe dieser Marken, die man *apices* nannte, konnte man offenbar ohne ein Zeichen für Null jede beliebige Zahl darstellen. 4) Der Abacus und diese Rechenmethoden wurden im Abendland durch Gerbert (den späteren Papst Sylvester II. 940—1003) und seine Schule, die Abacisten, verbreitet. 5) Die oben erwähnte Stelle in der sogenannten Geometrie des Boethius enthält ebenfalls eine Beschreibung eines Abacus: ausserdem findet sich in der gesamten Literatur vor Gerbert keine Spur davon. 6) Den Arabern war der Abacus bis zum 10ten Jahrhundert gänzlich unbekannt. 7) Neben den 9 Ziffern finden sich höchst rätselhafte Namen[2]) für sie, deren Ursprung und Bedeutung bis heute noch zweifelhaft sind.

Ob man nun annimmt, dass Gerbert seine Kenntnisse von den Neupythagoreern durch Vermittlung jener sog. Geometrie des Boethius hatte (Cantor), oder dass er sie bei seinem nachgewie-

[1]) Vgl. F. Nau, Notes d'astronomie syrienne III. Journ. asiatique (10) **16**, 225–227. (1910).

[2]) Man findet sie bei Cantor, a. a. O. Bd. I Seite 893.

senen Aufenthalt in der spanischen Mark erwarb: in jedem Fall bleiben zahlreiche Rätsel, und das Dunkel, das über diesem historischen Vorgang schwebt, ist auch heute noch nicht völlig aufgehellt.

Vom Beginn des 12. Jahrhunderts an gelangte teils durch den direkten Verkehr mit den Arabern, teils durch Übersetzungen arabischer Werke, die Positionsarithmetik mit der Null ins Abendland (daher der Name „arabische Ziffern"). Dadurch wurde der Abacus entbehrlich und im 13. Jahrhundert wird er namentlich durch den „Liber abaci" des Leonardo von Pisa (1202) und den „Algoritmus demonstratus"[1]) des Jordanus Nemorarius, sowie deren Schüler (die Algorithmiker) verdrängt.

Ausserhalb der Klostergelehrsamkeit drangen die neuen Ziffern nur langsam in die grosse Menge. Das älteste Beispiel von indischen Ziffern in den nicht mathematischen Handschriften findet sich wohl in der Chronica Ratisponensis[2]) des Regensburger Domherrn Hugo Grafen von Lerchenfeld; diese aus dem Jahr 1167 stammende Handschrift befindet sich jetzt in München. Auf einem Siegelstock in Hohenlohe-Neuenstein vom Jahre 1237 sollen sich arabische Ziffern befinden In Frankreich und besonders in Italien, der Heimat des Leonardo, sind sie unter den Kaufleuten schon im 13. Jahrhundert verbreitet; in Deutschland dringen sie erst nach der Erfindung der Buchdruckerkunst in weitere Kreise ein. Von da an ändert sich auch ihre Form kaum mehr, während sie vorher allen möglichen Verzierungen und Schnörkeln der Schreiber ausgesetzt waren. Die älteste Münze mit Positionsziffern stammt aus dem Jahr 1458. Die römischen Zahlzeichen sind aber daneben noch lange im Gebrauch gewesen und wurden nur langsam verdrängt; im Jahre 1525 werden sie in einem in Wittenberg gedruckten „Bökeschen vor de leyen und Kinder" die „gewenlich teutsch Zal" genannt, während die fremden Eindringlinge „Ziffern Zale" heissen. Als aber die deutschen Rechenbücher, besonders diejenigen von Adam Riese (1492—1559), das Rechnen mit diesen Ziffern lehrten, konnte nichts mehr ihre Verbreitung hindern.

[1]) So hiess das neue Rechnungsverfahren mit Positionsarithmetik. Das merkwürdige Wort ist eine Verstümmelung des Namens eines arabischen Mathematikers, Muhammed ibn Mûsâ Alchwarizmi (um 820).

[2]) Nach Sterner, Geschichte der Rechenkunst I. Teil, München und Leipzig 1891. Seite 149.

Ueber die Entstehung und Ausbreitung unserer Ziffern.

Von Professor **Dr. Eugen Löffler** in Schwäb. Hall.

Wir haben in dem vorangehenden Aufsatz gezeigt, dass man die Erfindung unseres Ziffernsystems den Indern zuschreibt, und dass der Name „arabische Ziffern" daher rührt, dass das christliche Abendland etwa im 10. Jahrhundert n. Chr. diese Zeichen von den Arabern kennen lernte. Wenn wir deshalb die Entstehung unserer Ziffern studieren wollen, so müssen wir unsern Blick nach Indien wenden und die Entwicklung der Ziffernschrift auf indischem Boden verfolgen.

Im ersten Band von Moritz Cantors „Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik" (3. Aufl. Leipzig 1907) wird auf Seite 604 die Frage nach der Entstehung der altindischen Ziffern nur kurz gestreift. Cantor tritt dort der ursprünglich von Prinsep geäusserten und später von anderen Sanskritisten angenommenen Ansicht bei, dass die indischen Ziffern von eins bis neun sich aus den Anfangsbuchstaben der neun Sanskritzahlwörter entwickelt haben, und fügt im Anschluss an Woepcke[1]) hinzu, dass besonders die Buchstabenformen des zweiten Jahrhunderts n. Chr. zur Ziffernbildung gedient haben. Er erwähnt jedoch auch kurz eine andere von Burnell[2]) stammende Ansicht, ohne diese jedoch weiter auszuführen. In neuerer Zeit haben sich nun bedeutende Indologen dieser Theorie von Burnell angeschlossen, so vor allem G. Bühler, der sowohl in seinen „Indian Studies" als auch in seiner „Indischen Paläographie"[3]) die Burnell'sche Theorie aufnimmt und weiter ausführt.

[1]) Mémoire sur la propagation des chiffres indiens. Journ. asiat. (6) 1, 73 (1863).

[2]) Elements of South Indian Palaeography. 2 Aufl. S. 59 ff. u. Tafel 23.

[3]) Grundriss der indo-arischen Philologie und Altertumskunde (begr. von G. Bühler, fortges. von F. Kielhorn) Band I. Heft 11. Strassburg 1896, (zitiert als B. I. P.)

Der Zweck der folgenden Zeilen ist, die Mathematiker auf diese neueren Resultate der Sanskritforschung hinzuweisen, und eine aus zerstreuten Abhandlungen geschöpfte Theorie über den wahrscheinlichen Zeitpunkt der Entstehung des indischen Ziffernsystems und über seine allmähliche Entwicklung zu geben; daran werden sich noch einige Bemerkungen über die Art und Weise der Ausbreitung desselben knüpfen.

Es ist bei jeder Untersuchung über die Ziffernschrift eines Volkes notwendig, auch die Buchstaben, bzw. die Silben- und Wortzeichen desselben zu berücksichtigen. Denn wenn auch häufig die Ziffernschrift, da sie eine Begriffsschrift ist, dem Prinzip nach von der gewöhnlichen Schrift abweicht, so ist es doch sicher, dass bei einem Volk sowohl in der Gestaltung der Ziffern als auch in derjenigen der übrigen Schriftzeichen dasselbe künstlerische Gefühl und derselbe Formensinn gewaltet hat. Zwar hat nicht jedes Volk sich ein eigenes Ziffernsystem geschaffen, so wenig jedes Volk sich eine eigene Schrift erdachte. Wo dies aber der Fall war, wie z. B bei den Babyloniern, Aegyptern und Chinesen, da finden wir, dass die Zahlzeichen denselben Typus aufweisen wie die übrigen Schriftzeichen. Wie die meisten Völker die Schrift von einem anderen Volk entlehnten, so kam es auch häufig vor, dass die Ziffernsysteme von einem Volk zu einem andern übergingen. Dabei ist jedoch auf die merkwürdige Tatsache hinzuweisen, dass häufig dieser Uebergang sich auf das Prinzip der betreffenden Ziffernschrift beschränkte, während das übernehmende Volk sich die Zeichen selbst schuf; wir erinnern z. B. an die semitischen Völker, die von den Griechen das Prinzip der Buchstabenzahlen übernahmen und dasselbe auf ihre eigenen Schriftzeichen anwandten. Andererseits fand nicht selten zwischen den von aussen eindringenden Zahlzeichen und den einheimischen Schriftzeichen ein weitgehender Prozess der Assimilation statt, und wir haben sogar für den umgekehrten Fall, dass nämlich die Zeichen eines alteingebürgerten Ziffernsystems sich den Buchstaben einer später eindringenden Schrift anpassten, ein Beispiel bei den Italikern[1]), deren uralte Zahlzeichen

[1]) Ueber die Entstehung der römischen Ziffern vgl. K. Zangemeister, Sitzungsber. der Berl. Akad. vom 10. Nov. 1887 II, S. 1011 ff., sowie einen Aufsatz von Gardthausen über die römischen Zahlzeichen

sich in den römischen Ziffern den Buchstaben des lateinischen Alphabets anglichen. Wir dürfen deshalb erwarten, dass auch bei den Indern die Vergleichung der Zahlzeichen mit den Schriftzeichen einige Fingerzeige für die Entstehung der Ziffern des Positionssystems geben wird, und wir betrachten deshalb zunächst die indische Schrift. Zu dem Zweck müssen wir etwas weiter ausholen.

Nach der Ueberlieferung der indischen Brahmanen ist die älteste indische Schrift eine Erfindung des Brahma; diese älteste Schriftgattung wird daher schon sehr früh als Brahmi bezeichnet. Da im Jahr 300 v. Chr. in Indien schon zahlreiche Varianten dieses Alphabets gebräuchlich waren, und da die Inder schon damals den Ursprung ihrer Schrift vergessen hatten, so hat man lange geglaubt, die Brahmi habe sich als Buchstabenschrift aus einer altindischen Hieroglyphenschrift entwickelt. Diese Ansicht hat sich jedoch als unhaltbar erwiesen. Wie die griechische, so stammt auch die altindische Schrift von einem semitischen Alphabet ab. Die älteste semitische Buchstabenschrift ist die der Phöniker; sie entstand wahrscheinlich zwischen 1500 und 1000 v. Chr.[1]) aus einer lange vor dieser Zeit bei den semitischen Bewohnern Syriens üblichen eigenartigen Hieroglyphenschrift. Die Frage nach dem Ursprung der letzteren ist noch nicht genügend geklärt; man hat lange geglaubt, sie aus der hieratischen Schrift der Aegypter ableiten zu können, aber neuere Untersuchungen machen es wahrscheinlich, dass sie mit der sumerisch-babylonischen Keilschrift zusammen hängt[2]). Die phönikische Buchstabenschrift, welche von rechts nach links gelesen wurde, bestand aus 22 Konsonantenzeichen, die von den Phönikern in einer ganz bestimmten Reihenfolge angeordnet worden waren, eben der Reihenfolge, die heute noch die Grundlage der Anordnung unserer Buchstaben im Alphabet bildet. Entsprechend der Eigen-

in der germanisch-romanischen Monatsschrift, I. Jahrgang. Heft 7 (1909). Vgl. auch meinen Vortrag „Zahlwörter und Zahlzeichen bei den wichtigsten Kulturvölkern“ im vorliegenden Heft dieser „Mitteilungen“.

[1]) Gardthausen, Ursprung und Entwicklung der griechisch-lateinischen Schrift. German.-roman. Monatsschrift I, S. 273 ff. (1909).

[2]) W. Larfeld, Handbuch der griech. Epigraphik, Bd. I. S. 339 ff. Leipzig 1907.

art der semitischen Sprachen waren für die Vokale keine besonderen Zeichen vorhanden. Die älteste uns bekannte Inschrift, die in diesen 22 Zeichen geschrieben ist, stammt aus dem Jahr 890 v. Chr.; es ist die berühmte Inschrift des Königs Mesa von Moab.

Infolge des ausgedehnten Land- und Seeverkehrs, der von den Phönikern betrieben wurde, verbreitete sich diese Buchstabenschrift einerseits nach Westen hin zu den Griechen, von denen sie wahrscheinlich kurz vor dem Jahr 1000 v. Chr. auf der Insel Kreta aufgenommen wurde; bei diesem Uebergang erhielt sie bekanntlich verschiedene Zusätze und machte zahlreiche Veränderungen im einzelnen durch, von denen wir als die wichtigste nur die hervorheben, dass einige für das Griechische unbrauchbare Hauchlaute zur Bezeichnung der Vokale verwendet wurden; damit erlangte dieses semitische Alphabet die Fähigkeit, auch nicht semitische Sprachen aufzuzeichnen[1]). Die Griechen gaben die Schrift an die Römer weiter, und wir haben sie von den Römern. Andererseits aber drang die phönikische Buchstabenschrift auch zu den übrigen semitischen Völkerschaften Vorderasiens, von denen sie im wesentlichen unverändert übernommen wurde. Wir verstehen dabei unter Semiten nicht eine bestimmte Rasse, sondern diejenigen Völker[2]), welche eine semitische Sprache reden. Die semitischen Sprachen zerfallen in eine nördliche und eine südliche Gruppe; in der letzteren ist die wichtigste das Arabische mit seinen zahlreichen Dialekten; zu den nordsemitischen Sprachen gehört ausser dem Hebräischen, Phönikischen und einigen andern vor allem das Aramäische. Diese letztere Sprache, welche ursprünglich nur von einigen Bergvölkern gesprochen wurde, verbreitete sich bald als Handelssprache über ganz Vorderasien, verdrängte vom 8. Jahrhundert v. Chr. an alle andern nordsemitischen Sprachen[3]) und war zur Zeit des Perserreichs (also um 500 v. Chr.) die offizielle Sprache für alle Provinzen westlich vom Euphrat bis nach Kleinasien und

[1]) W. Larfeld, a. a. O. S. 346 ff.

[2]) Über die semitischen Stämme vgl. Ed. Meyer, Geschichte des Altertums Bd. I, S. 206 ff. (1. Aufl. Stuttgart 1884).

[3]) So z. B. das Hebräische in Palästina; die Bücher Esra und Daniel sind aramäisch geschrieben.

Aegypten hinein. Das Syrische ist die Sprache der christlichen Aramäer, welche im nördlichen Mesopotamien in Edessa ihren Mittelpunkt hatten. Diese Sprache ist kulturgeschichtlich vor allem deshalb wichtig, weil durch die syrische Literatur christliche, philosophische und wissenschaftliche Bildung zu den Arabern und Persern, ja bis nach Indien und China vermittelt wurde. Auch die Sprache, welche in Palmyra gesprochen wurde, jener berühmten Stadt in der syrischen Wüste, die in den ersten Jahrhunderten n. Chr. blühte, und auf deren Trümmern das heutige Tadmor steht, ist ein Dialekt des Aramäischen. Heute sind die nordsemitischen Sprachen fast völlig ausgestorben, da sie bald nach der Gründung des Islam durch das Arabische verdrängt wurden; syrische Dialekte werden noch am Urmiasee gesprochen.

Alle diese Sprachen und Dialekte übernahmen das phönikische Alphabet, wobei sich natürlich die Form der einzelnen Buchstaben mannigfach veränderte, ihre Bedeutung aber meist ungeändert blieb. Die syrisch-aramäische Schrift ist nun wieder einerseits die Mutter der arabischen (sowohl der älteren „kufischen" als auch der heute noch gebräuchlichen sogenannten „Neskhi-Schrift"[1]) und damit der heutigen persischen und türkischen Schrift, andererseits aber stammt von ihr ab die älteste Brāhmī der Inder, d. h. das älteste Sanskritalphabet.

Es ist eine bekannte Eigentümlichkeit der Brahmanen, dass sie besonders in den ältesten Zeiten schriftliche Aufzeichnungen vermieden und ihre Lehren lieber der mündlichen Überlieferung anvertrauten. Deshalb sind ja auch zahlreiche religiöse und wissenschaftliche Werke der Inder in Versen abgefasst. Wenn aber auch die Brahmanen kein zwingendes Bedürfnis nach der Schrift hatten, so war diese für die indischen Kaufleute, welche fortwährend mit den semitischen Handelsvölkern in Berührung kamen, allmählich unumgänglich notwendig geworden. Da nun, wie schon bemerkt wurde, im letzten Jahrtausend v. Chr. das aramäische Alphabet die internationale Verkehrsschrift in Vorderasien war, so hat es nichts Befremdendes an sich, wenn wir hören[2]), dass die semitischen Buchstaben von Mesopotamien her durch indische Kaufleute eingeführt wurden. Als wahrscheinlicher Zeitpunkt dieser

[1]) Vgl. z. B. Cantor, Vorlesungen etc. Bd. I. (3. Aufl.) S. 708.

[2]) B. I. P. Seite 17.

Einführung ist das Jahr 800 v. Chr. zu betrachten, da die grosse Mehrzahl der ältesten Brāhmābuchstaben mit den Typen des Mesasteines Ähnlichkeit hat. Allerdings ist diese älteste uns bekannte Form des Brāhmā-Alphabets, die etwa aus dem 6. Jahrhundert v. Chr. stammt, schon durchaus dem Sanskrit angepasst und in ein ausserordentlich gelehrtes und künstliches System gebracht. Namentlich sind Zeichen für Nasallaute, Vokale und einige andere dem Sanskrit eigentümliche Laute hinzugekommen, so dass ums Jahr 500 v. Chr. ein Alphabet mit 14 Vokal- und 33 Konsonantenzeichen vorhanden war. Da diese Bereicherungen unmöglich von Kaufleuten oder Schreibern herrühren können, so muss man annehmen, dass die Brahmanen sich bald nach der Einführung der semitischen Zeichen dieses neuen Hilfsmittels bemächtigt und dass sie daraus ein für das Sanskrit geeignetes Alphabet geschaffen haben, in welchem von links nach rechts geschrieben wurde. Es ist ja überhaupt eine charakteristische Eigentümlichkeit der Brahmanen, dass sie alles, was sie bei anderen Völkern kennen lernten, stets vertieft und weiter gebildet und dadurch von Grund aus neu geschaffen haben. In Bezug auf die äusserst interessante Ableitung der altindischen Buchstaben aus den aramäischen müssen wir auf B. I. P. Seite 10—16, sowie auf G. Bühler's „Indian Studies" III S. 79—87 verweisen.

Wir müssen noch kurz erwähnen, dass neben der Brāhmī im nördlichen Indien vom 4. Jahrhundert v. Chr. bis zum 3. Jahrhundert n. Chr. noch eine zweite Schrift geschrieben wurde, nämlich die sogenannte Kharosthī[1]); sie ist meist von rechts nach links zu lesen und findet sich fast nur auf Inschriften, Münzen und Gemmen. Auch diese Schrift ist semitischen Ursprungs. Nach der Eroberung des Pandschab durch die Achämeniden (etwa 500 v. Chr.) brachten nämlich die persischen Satrapen zahlreiche aramäische Schreiber in die indische Provinz mit und zwangen so ihre indischen Untertanen, aramäisch zu lernen. Der Verkehr zwischen den indischen und persischen Kanzleien führte zunächst zur Verwendung der aramäischen Schrift für die indischen Dialekte, und daraus entwickelte sich durch Anpassung an die

[1]) B. I. P. Seite 19.

Eigentümlichkeiten des indischen Idioms und an die schon entwickelte Brāhmī die Kharosthī. Die weiteren Gründe für diese Theorie sowie die Ableitung der Kharosthī-Zeichen aus den aramäischen möge man bei B. I. P. Seite 20—29 nachlesen.

Wir wenden uns nun zu den Zahlzeichen der Inder und erwähnen zunächst kurz diejenigen der Kharosthī-Schrift[1]). Wie die Schriftzeichen, so sind auch die Zahlzeichen derselben aramäischen Ursprungs und wurden gleichzeitig mit den ersteren eingeführt. Zu jener Zeit besassen die Semiten jedoch ihr späteres Zahlenalphabet noch nicht[2]), sondern sie hatten ein eigentümliches Ziffernsystem, das dem Prinzip nach bei den meisten semitischen Völkern dasselbe war. Wir erinnern an die Zahlzeichen der Phöniker sowie an die syrischen und palmyrenischen Ziffern[3]). Bei diesen Ziffernsystemen ist deutlich ein Vigesimalsystem zu bemerken, in dem die Ziffer für 20 neben derjenigen für 10 zur Darstellung der übrigen Zehner benutzt wurde. Ganz ähnlich war das Ziffernsystem der alten Aramäer und damit auch dasjenige der Kharosthī-Schrift. Die letztere bezeichnet die Ziffern 1, 2, 3 mit ebensovielen Vertikalstrichen, für 4 benützt sie ein liegendes Kreuz, das wohl eine kursive Ligatur aus vier Vertikalstrichen ist, endlich waren für 10, 20 und 100 besondere Zeichen vorhanden. Da die Kharosthī-Ziffern für das folgende nicht von Belang sind, verweisen wir bez. ihrer Form und bez. der Bildung der übrigen Zahlen aus den angeführten 7 Grundzeichen auf B. I. P. (Seite 73—74 und Tafel I). Es sei nur bemerkt, dass dabei das Hankel'sche Prinzip der Grössenfolge gilt, und dass zur Bezeichnung der Hunderter die Ziffern für 2, 3 usw.

[1]) B. I. P. Seite 73.

[2]) Vgl. Cantor, a. a. O. S. 124 ff.

[3]) Über diese Ziffern vgl. Cantor, a a. O. S. 123 ff. sowie Cantor, Math. Beiträge zum Kulturleben der Völker, S. 254 ff. Halle 1863.

Die palmyrenischen und phönikischen Ziffern findet man abgebildet bei Pihan, Exposé des signes de numération chez les peuples orientaux anciens et modernes. Paris 1860. S. 165 u. 167; die syrischen in der Zeitschr. d. deutsch. morgenländ. Gesellsch. 16, 578 (1862). Sämtliche hier genannten Zahlzeichen sind auch abgebildet in der Schrift: E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit. Math. Bibliothek. Band 1. Leipzig und Berlin (Teubner) 1912. (Zitiert als Löffler.

mit multiplikativer Wirkung rechts vor das Zeichen für 100 gestellt wurden (da die Schrift linksläufig ist).

Auf die eigentümlichen Ziffernsysteme, welche Âryabhatta, Brahmagupta und andere indische Mathematiker benützt haben, brauchen wir ebenfalls nicht einzugehen, da sie bei Cantor (Band I, Seite 605—609) ausführlich geschildert sind[1]). Wir wenden uns deshalb sofort zu den Zahlzeichen der Brahmi.

Auf sämtlichen Inschriften und Münzen, sowie in zahlreichen Manuskripten, welche in Brahmi geschrieben sind, findet man seit den ältesten Zeiten eine in ganz Indien verbreitete Zahlenbezeichnung[2]), deren Zeichen mit wenigen Ausnahmen den Buchstaben der jeweils benützten Form des Brahma-Alphabets ausserordentlich ähnlich sind (vgl. die Abbildung bei Löffler Seite 71 Spalte I bis VII). Die Zahlen 1, 2, 3 werden stets durch Horizontalstriche oder kursive Verbindungen derselben wiedergegeben, für 4—9, 10—90, 100 und 1000 existiert je ein besonderes Zeichen. Zur Bezeichnung von 200 und 300, 2000 und 3000 erhalten die Zeichen für 100 und 1000 rechts einen bzw. zwei kleine Striche. Die Zahlen 400—900 und 4000—70000 (das ist die höchste bis jetzt gefundene Zahl) werden durch Ligaturen der Zeichen für 100 und 1000 mit den Grundzeichen für 4 bis 9 bzw. 4 bis 70 dargestellt. Die übrigen Zahlen werden durch additive Zusammenstellung bzw. Verschlingung dieser Grundzeichen bezeichnet, wobei nach dem Prinzip der Grössenfolge die kleinere Ziffer rechts von der grösseren steht (zuweilen, namentlich bei der Paginierung von Manuskripten stehen die kleineren senkrecht unter den grösseren).

Wie schon erwähnt, sind die Zeichen dieses Systems meist Buchstaben oder Silben desjenigen Schrifttypus, der jeweils benützt wird. Dies trifft besonders bei den Ma-

[1]) Siehe auch H. Hankel, zur Geschichte der Mathematik im Altertum und Mittelalter. Leipzig 1874. S. 183—185, sowie G. Thibaut, Astronomie, Astrologie und Mathematik der Inder. Heft 9 des III Bandes des erwähnten Grundrisses der indo-arischen Philologie etc. Strassburg 1899. Seite 71.

[2]) B. I. P. S. 74—78, sowie Burnell, a. a. O. S. 59 ff. und E. C. Bayley, On the Genealogy of the modern Numerals. Journ. of the Royal Asiat. Society. New series **14**, 335—376 und **15**, 1—72. (1882—1883).

nuskripten zu, wenn auch zahlreiche Varianten und Abweichungen von jenen Buchstabenformen zu bemerken sind. Die Laut- und Silbenwerte der einzelnen Zeichen möge man in B. I. P. Seite 75 nachsehen. Die Inschriften dagegen zeigen neben deutlichen Buchstaben zahlreiche kursive und stilisierte Zeichen, und der Lautwert der Buchstabenzeichen ist in verschiedenen Perioden und in verschiedenen Gegenden verschieden.

Es fällt sofort auf, dass das Prinzip dieser Brahma-Ziffern dasselbe ist, welches sich bei dem hieratischen und bei dem demotischen Ziffernsystem der Aegypter findet. Eine aufmerksame Betrachtung zeigt z. B., um nur weniges hervorzuheben, dass im hieratischen und demotischen Ziffernsystem[1]) die Zeichen für 20 und 30 deutlich aus denjenigen für 10 abgeleitet sind; man erkennt ferner, dass in diesem Systeme 50 eine Kombination von 5 und 10, 70 eine solche von 7 und 10 und 700 eine solche von 7 und 100 ist. Besonders auffallend ist die Aehnlichkeit des brahmanischen mit dem ägyptischen Ziffernsystem bei der Bildung der Hunderter und Tausender; es werden nämlich bei beiden an den Grundzeichen für 100 bzw. 1000 einfach 2, 3, 4, 5 usw. Verdickungen bzw. Striche angebracht. Daneben finden sich allerdings auch merkwürdige additive Bildungen, wie z. B. hieratisch 900 = 300 + 300 + 300; demotisch 5000 = 2000 + 3000; 7000 = 3000 + 4000 usw.; auch in brahmanischen Schriftstücken sind solche Verschlingungen nicht selten. Auf Grund dieser Tatsachen hat Burnell und im Anschluss an ihn auch Bühler die Hypothese aufgestellt, dass die Elemente des indischen Ziffernsystems aus Aegypten entlehnt sind. Die einzelnen Zeichen sind nach dieser Ansicht aus den hieratischen und demotischen Ziffern abgeleitet, von den brahmanischen Schulmännern allmählich den Brāhmā-Buchstaben und einzelnen Silben der Brāhmī angepasst und in dieser Richtung weiter entwickelt worden. Wir sehen eine Stütze dieser Ansicht nicht nur in den am Anfang dieses Aufsatzes erwähnten ähnlichen Erscheinungen bei anderen Völkern, die fremde Ziffernsysteme in sich aufnahmen, sondern auch in der Tatsache, dass zwischen Aegypten und Indien uralte Handelsbeziehungen be-

[1]) Vgl. die Abbildung bei Löffler S. 36.

standen haben[1]) und endlich in der Bemerkung, dass eine Vergleichung der Brāhmā-Ziffern mit den hieratischen und demotischen zahlreiche Aehnlichkeiten auch in der Form ergibt, die zum Teil schon von Martin[2]) bemerkt und, allerdings in anderer Weise, zu Schlüssen über die Herkunft unserer Ziffern verwendet worden sind. Endlich ist noch zu bemerken, dass den Indern die Verwendung von Buchstaben zur Bezeichnung von Zahlen deshalb nahe liegen musste, weil sie von alters her in sehr eigentümlicher Weise die Zahlen symbolisch durch Wörter bezeichnet haben[3]).

Für diejenigen Leser, die die Frage eingehender zu studieren wünschen, dürfen wir vielleicht auf unser angeführtes Bändchen in der Math. Bibl. verweisen und zu der dort auf Seite 71 stehenden Abbildung folgende Bemerkungen hinzufügen.

Die Spalten I bis VII der Abbildung zeigen die Entwicklung sowie die örtlichen und zeitlichen Unterschiede der Brāhmā-Ziffern; aus den Erläuterungen ist das nähere zu ersehen.

In Spalte VIII sind diejenigen Zahlzeichen hinzugefügt, die um die Mitte des vorigen Jahrhunderts bei den Singhalesen im Süden der Insel Ceylon üblich waren, und die wohl heute noch benützt werden. Wir halten sie für einen Ueberrest der alten Brāhmā-Ziffern; man vergleiche namentlich die Zeichen für 2, 3, 6, 7, 8, 20, 50, 60, 80 und 90 mit denen der vorhergehenden Spalten; man beachte ferner, dass bei diesen Ziffern 70 durch eine Vereinigung der Zeichen für 60 und 10 entstanden ist und vergleiche dazu etwa die entsprechenden Zeichen in Spalte II, III und IV, wo zum mindesten ein Ansatz zu dieser Zusammensetzung zu bemerken ist[4]), und man beachte endlich den Unterschied der Zeichen für 20 und 80 (das eine unten zugespitzt, das andere rund) in Spalte VIII, einen Unterschied, der sich in den entsprechenden Zeichen der Spalten II, III und IV schon zeigt.

---

[1]) F. Lindemann, Zur Geschichte der Polyeder und der Zahlzeichen. Sitzungsber. der Münchener Akad. der Wiss. Math.-phys. Klasse. **26**, 662 und 751 (1897).

[2]) Les signes numéraux et l'arithmétique chez les peuples de l'antiquité et du moyen-âge. Ann. di mat. pura ed applicata. **5**, 358 ff. (1863).

[3]) Cantor a. a. O. S. 607; Thibaut, a. a. O. S. 71; Woepcke, a. a. O. S. 284 ff.

[4]) Sollte sich hier der Einfluss eines Sexagesimalsystems geltend machen, das bekanntlich im Sanskrit, im Gotischen und Althochdeutschen sowie in den südeuropäischen Sprachen heute noch in den Zahlwörtern von 70 an eine andere Ausdrucksweise veranlasst hat als in denen von 20 bis 60? Vgl. Joh. Schmidt, Die Urheimat der Indogermanen und das europäische Zahlsystem. Abhandl. der Berliner Akad. 1890.

Etwa vom Jahr 590 n. Chr. an haben wir dokumentarische Beweise dafür, dass in Indien neben der geschilderten Zahlenbezeichnung noch ein anderes dekadisches Ziffernsystem benützt wurde, das auf dem Prinzip der Position beruht. Ob dasselbe eine Nachahmung des in Babylonien seit den ältesten Zeiten benützten sexagesimalen Positionssystems ist, oder ob es eine selbständige Erfindung der indischen Brahmanen darstellt, wissen wir nicht. Wir halten das letztere für wahrscheinlich und glauben, im Anschluss an Burnell und Bayley, dass die Erfindung mit Hilfe einer Art Abacus gemacht wurde. Zwar ist über das Rechnen der Inder vor der Erfindung des Positionssystems nur sehr wenig bekannt; auch kennen wir kein indisches Recheninstrument. Aber wir haben zahlreiche Belegstellen dafür, dass die Inder schon in sehr früher Zeit ihre Zahlen und Berechnungen auf ein mit Staub oder Sand bedecktes Brett zu schreiben pflegten[1]). Die Annahme, dass beim Rechnen eine Art Abacus, über dessen Form wir jedoch gar keine Vermutung aufstellen wollen, auf jenes Brett gezeichnet wurde, hat daher gar nichts Befremdendes an sich; im Gegenteil, gerade das Fehlen von Aufzeichnungen über die altindischen Rechenmethoden, und der Mangel an geschriebenen Positionsziffern vor dem 6. Jahrhundert scheinen uns eine Stütze der ausgesprochenen Ansicht zu sein; denn wenn die indischen Gelehrten das Rechnen mit Hilfe des in den Sand gezeichneten Abacus auf den Schulen lehrten, so wurde natürlich jede Rechnung nach ihrer Vollendung wieder zerstört. Wir haben eine sehr anschauliche Schilderung dieses Verfahrens in einem arabischen Manuskript, dessen Uebersetzung Woepcke gegeben hat[2]). Ausserdem aber musste dieses Verfahren für die brahmanische Unterrichtsmethode, die im wesentlichen in mündlicher Belehrung bestand, sehr bequem sein. Für die schriftliche Überlieferung bediente man sich bekanntlich einer grossen Anzahl symbolischer Worte, die es ermöglichten, auch mathematische Betrachtungen in Verse zu fassen, wie es die Brahmanen liebten. In seinem Werk über Indien hat der Araber Al-Biruni sehr ausführlich und genau über diese symbolische

[1]) Siehe z. B. bei Woepcke, a. a. O. S. 60, 64, 240, 241, 267, 276, 497, 515.
[2]) a. a. O. S. 60.

Zahlbezeichnung berichtet und Woepcke gibt uns eine Übersetzung der betr. Stelle[1]). Das Wichtigste dabei aber ist, dass diese symbolische Bezeichnung, die in Indien seit sehr alten Zeiten geübt wurde, auf dem Positionsgedanken und der Verwendung der Null beruht[2]). Da nun die Beispiele, die Woepcke anführt, sich in einer Schrift finden, die gegen das Ende des 5. Jahrhunderts entstanden ist, so muss den indischen Mathematikern der Positionsgedanke und die Verwendung der Null lange vor der Zeit vertraut gewesen sein, aus der die ersten geschriebenen Positionsziffern stammen. Wir erinnern ferner an das im Jahr 1881 in Bakshali (im nordwestlichen Indien) gefundene sog. Bakshali-Manuskript. Es ist ein auf Birkenrinde geschriebenes Rechenbuch, das zwar erst im 8. oder 9. Jahrhundert geschrieben, dessen Inhalt aber nach Ansicht der besten Sanskritkenner[3]) im Anfang unserer Zeitrechnung entstanden ist, und das die Null und das Positionsprinzip kennt.

Der in den Sand gezeichnete Rechenrahmen, den wir annehmen, muss also schon zu Anfang unsrer Zeitrechnung bei den indischen Mathematikern und Astronomen gebräuchlich gewesen sein. Demjenigen, der mit dem indischen Zahlensystem vertraut ist, drängt sich sofort der Gedanke auf, dass die einzelnen Spalten mit den Namen der Stufenzahlen überschrieben wurden; denn das Sanskrit besitzt besondere Namen[4]) für diese Stufenzahlen bis zu sehr hohen Potenzen von 10. Als „Apices“ wurden die Zeichen der Einer in der Zahlbezeichnung der Brahmi verwendet.

Ein Blick auf die Spalten IX bis XIV der oben angeführten Abbildung, in denen altindische Positionsziffern dargestellt sind, zeigt in der Tat, dass sich diese Zeichen aus den alten Brahma-Ziffern entwickelt haben. Die Spalte IX enthält das älteste epigraphische Beispiel der indischen Positionsziffern; die drei Ziffern bilden die Jahreszahl (346) auf einer aus dem Jahr 595 n. Chr. stammenden südindischen Inschrift; sie stimmen durchaus überein mit den entsprechenden Brahma-Ziffern derselben Periode und Gegend, wie sie die Spalte III zeigt. Spalte X enthält die Ziffern der Zahl 675, welche als Jahreszahl auf einer Kupfer-

[1]) a. a. O. S. 275 ff.

[2]) Woepcke, a. a. O. S. 447.

[3]) Vgl. z. B. Hörnle, Indian Antiquary **17**, 35 oder B. I. P. S. 78.

[4]) Vgl. z. B. Woepcke, a. a. O. S. 251 ff. und Seite 19 dieser „Mitteilungen“.

platte[1]) des 8. Jahrhunderts vorkommt; die Ziffern sind zum Teil veränderte Kursivzeichen.

Da die Null beim Rechnen mit dem Abacus nicht notwendig ist, so ist Cantor's Ansicht wahrscheinlich, dass sie erst später hinzuerfunden wurde. Wann das allerdings geschah, wissen wir nicht; die Ziffern des Bakshali-Manuskripts[2]) geben keinen Anhaltspunkt, da ja die uns erhaltene Abschrift aus späterer Zeit stammt. Jedenfalls aber wurde die Null anfänglich durch einen Punkt bezeichnet, der nicht nur zur Andeutung des leeren Feldes diente, sondern auch an die Stelle der Unbekannten trat, deren Platz auch vorläufig leer bleiben muss In einem nicht mathematischen Werk, das im 7. Jahrhundert als sehr berühmt gepriesen wird, vergleicht der Verfasser Subandhu die Sterne mit Nullen (*sunya-bindu*), die der Schöpfer bei der Berechnung des Wertes des Alls wegen der absoluten Wertlosigkeit des Weltgetriebes mit seiner Kreide (der Mondsichel) überall auf das Firmament einzeichnete[3]). Die Entstehung dieses Punktes denken wir uns in folgender Weise. Es mag vorgekommen sein, dass man Zahlen in den Sand schrieb, nicht um mit ihnen zu rechnen, sondern nur um sie für spätere Verwendung aufzubewahren. Da man zu diesem Zweck sich die Mühe sparte, einen Abacus zu zeichnen, so musste man auf irgend eine Weise den Stellenwert der 9 Ziffern andeuten. Was lag nun näher als dies durch gewisse Marken, Accente oder Punkte zu tun, die man über, unter oder neben die betr. Ziffer setzte, so dass also z. B. die Zahl 5304 durch $\dot{5}\dot{3}4$ dargestellt wurde? Die Bemerkung, dass alle diese Punkte unterdrückt werden können, wenn man die fehlende Stelle durch einen solchen andeutet, muss sich dann mit der Zeit von selbst ergeben haben. Damit wäre zugleich die Tatsache erklärt, dass in ost- und westarabischen Manuskripten vielfach die Zahlen ausserhalb der Rechnung mit solchen darüber oder darunter gesetzten Punkten geschrieben wurden[4]).

[1]) Kupferplatten werden in Indien seit der ältesten Zeit bis auf die Gegenwart für Schriftstücke verschiedenen Inhalts, besonders für Urkunden, verwendet.

[2]) Spalte XII der angeführten Abbildung.

[3]) B. I. P. S. 78.

[4]) Woepcke, a. a. O. S. 244 ff. und L. C. Karpinski, Hindu Numerals in the Fihrist. Bibl. Math. (3) II, 121–124. (1911). Der Fihrist ist die erste encyklopädische Litteraturübersicht der Araber, ums Jahr 980 von Ibn Abi Jakûb verfasst. Herausgeg. von Flügel, Leipzig 1870—72. 2 Bde.

Die Null in Kreisform, die sich aus dem Punkt entwickelt hat, kommt zuerst im Monatsdatum 20 der Ciacole-Kupferplatten (um 738 n. Chr.) vor[1]), während die Jahreszahl dieses Dokuments in Brahma-Ziffern geschrieben ist. Überhaupt finden sich vom Jahr 600 an die Positionsziffern häufig neben den Buchstabenzahlen, und die letzteren verschwinden auf den Inschriften erst vom 12. Jahrhundert an allmählich, während sie in den (meist auf Palmblätter) geschriebenen Manuskripten gewisser indischer Mönchsorden neben den Positionsziffern (hauptsächlich zur Paginierung) bis ins 16. Jahrhundert Verwendung finden. Vom 9. Jahrhundert an wird jedoch der Gebrauch der Positionsziffern die Regel. Die lokalen Unterschiede erklären sich daraus, dass alle diese Ziffern entweder direkt aus den Brahma-Zeichen oder aus gleichwertigen Buchstaben entwickelt sind, die ja, wie wir wissen, zeitlich und örtlich bedeutende Unterschiede aufweisen.

Es ist bekannt, dass die Ziffern von den Indern zu den Arabern gelangten; aber man wusste bis jetzt nicht, wann das geschah und auch nicht, auf welchem Wege sich dieser Übergang vollzog. Nach Woepcke, dem sich Cantor anschliesst, soll die Übermittlung im Jahr 773 stattgefunden haben[2]), als eine indische Gesandtschaft dem Kalifen Almansor ein Werk über indische Astronomie überbrachte. Eine von F. Nau[3]) in einem syrischen Manuskript gefundene Stelle, die bisher der Aufmerksamkeit der Mathematiker entgangen zu sein scheint, beweist jedoch, dass dieser Uebergang schon viel früher und auf ganz anderem Wege stattgefunden hat. Diese Stelle findet sich in einer Schrift des syrischen Gelehrten Severus Sebokt, der um die Mitte des 7. Jahrhunderts Bischof des Klosters Kennesrin (am linken Ufer des Euphrat) war. Er ist berühmt als Kenner und Lehrer des Griechischen, der Philosophie und der Mathematik; er schrieb über die Zeichen des Tierkreises, das Astrolabium und über den Kalender; auch von seinen philosophischen Schriften sind uns verschiedene erhalten. Severus Sebokt wehrt sich an der angeführten Stelle gegen die Anmassung vieler

[1]) B. I. P. S. 75.

[2]) a. a. O. S. 472.

[3]) Notes d'astronomie syrienne. III. La plus ancienne mention orientale des chiffres indiens. Journ. asiat. (10) **16**, 225–227 (1910).

Griechen, die alles zu wissen und zu können glauben; er stellt ihrem Hochmut die Kenntnisse der Syrer und der Inder entgegen und erwähnt dabei die Rechnungsweisen der letzteren, die „das gesprochene Wort übertreffen und die mit 9 Zeichen bewerkstelligt werden."

Wir haben damit die für die Geschichte der Ziffern ausserordentlich wichtige Tatsache konstatiert, dass im Jahr 662 (in diesem Jahr ist das betr. Manuskript geschrieben) in einem syrischen Kloster am Ufer des Euphrat die 9 Ziffern bekannt waren, in ihrer Bedeutung gewürdigt wurden, und dass ihre Erfindung den Indern zugeschrieben wurde. Die Bemerkung des Severus Sebokt ist um so wertvoller, als er selbst für griechische Wissenschaft begeistert war und deshalb an sich keine Veranlassung hatte, die Kenntnisse der Griechen gegenüber denjenigen der Inder herabzusetzen; die erwähnte Stelle ist namentlich auch wichtig gegenüber der Behauptung von G. R. Kaye[1]), dass alle Angaben über indische Leistungen vor dem 11. Jahrhundert n. Chr. als sehr wenig glaubwürdig anzusehen seien.

Severus Sebokt hat zahlreiche Schüler gehabt, unter denen besonders Athanasius von Balad und Jakob von Edessa durch ihre vielseitige Tätigkeit als Übersetzer und Lehrer bekannt sind. Es ist wohl als sicher anzunehmen, dass Severus Sebokt seine Kenntnisse von den indischen Ziffern ihnen übermittelt hat, und so erscheinen also die christlichen Syrer als die ehrlichen Makler, die die indischen Ziffern den Arabern und damit den Völkern des Abendlandes überliefert haben. Auch sonst haben neuere Forschungen gezeigt, dass den Syrern ganz wesentlich das Verdienst zukommt, dem christlichen Mittelalter die Reste griechischer und indischer Philosophie und Wissenschaft gerettet zu haben[2]).

Die weitere Geschichte der indischen Ziffern wollen wir hier nicht verfolgen, da man sich darüber im ersten Band von Cantor leicht orientieren kann; die historischen Daten haben wir auch in unserem schon erwähnten Vortrag in diesen „Mit-

[1]) Journ. and Proc. of the Asiatic soc. of Bengal (2) 3, 475—508. (1907).

[2]) Vgl. z. B. die Anzeige von Rubens Duval, La littérature Syriaque durch Eb. Nestle in der Berl. philolog. Wochenschrift vom 30. Dezember 1899 (Nro. 52) Spalte 1613.

teilungen“ zusammengestellt. Trotz des neuen historischen Datums bleibt in dieser Geschichte noch manches dunkel, und wir möchten nur noch darauf hinweisen, dass jüngst Louis C. Karpinski im Fihrist indische Ziffern nachgewiesen hat[1]).

In Spalte XV der schon mehrmals erwähnten Abbildung ist die älteste Form der arabischen Gubarziffern dargestellt. Sie zeigen grosse Aehnlichkeit mit den altindischen, besonders bei 1, 3, 6, 7 und 9; andere wie z. B. 2, 4, 5 erscheinen um 180° bzw. 90° gedreht. Vergleicht man damit die modernen Ziffern der Araber (Spalte XXII), so sieht man, dass sie eckiger sind als die alten, und dass sie wiederum mit wenigen Ausnahmen durch gewisse Drehungen aus denen der Spalte XV abgeleitet sind. Diese Drehungen sind leicht zu verstehen, wenn man bedenkt, dass auch die Lage der Buchstaben bei manchen semitischen Sprachen verschiedene Drehungen durchgemacht hat. (Vgl. Eb. Nestle, Syrische Grammatik, 2. Aufl. Berlin 1888, S. 3).

Es mögen hier noch einige andere Theorien über die Entstehung unserer Ziffern erwähnt werden. Karl Mischke hat in einer sehr lesenswerten Schrift[2]) die indischen Ziffern mit den chinesischen verglichen, die übrigens nicht nur in China, sondern in ganz Ostasien einschliesslich Koreas und Japans Geltung haben. Er deutet die chinesischen Ziffern aus gewissen Stellungen der Hand; doch scheint uns der Versuch viel zu geistreich als dass wir ihn für richtig halten könnten. Mischke neigt zu der Ansicht, dass die indisch-arabischen Ziffern aus den chinesischen abzuleiten seien; doch ist diese Ansicht durchaus unhaltbar, denn erstens wird sie durch keinerlei positive Tatsache gestützt, zweitens schreiben sowohl Syrer als auch Araber einstimmig die Erfindung der Ziffern den Indern zu, und drittens sprechen zahlreiche Tatsachen der allgemeinen Kulturgeschichte dagegen. Die andere Möglichkeit aber, die Mischke andeutet, dass nämlich die indischen und die chinesischen Ziffern beide von derselben gemeinsamen Quelle stammen, ist nicht von der Hand zu weisen. Denn zwischen Indien und China bestanden nachgewiesenermassen in alter Zeit schon viele Beziehungen, und so ist es nicht unmöglich, dass die Chinesen ihre Ziffern von einer frühen Form der Brahma-Ziffern entlehnt haben, wie sie in den nordindischen Grenzländern (Nepal) üblich waren. Eine wichtige Stütze dieser Ansicht scheint uns in der Tatsache zu liegen, dass im 7. Jahr-

[1]) Bibl. Math. (3) II, 121—124 (1911).

[2]) Karl Mischke, Naturgeschichte der Ziffern. Bremen 1907.

hundert n. Chr. ein indischer Kalender ins Chinesische übersetzt wurde, in dem geschriebene Berechnungen vorkamen[1]). Eine genaue Vergleichung der altchinesischen und kaufmännischen Ziffern[2]) mit den ältesten Zahlzeichen der Brahmi liefert in der Tat überraschende Ähnlichkeiten, namentlich wenn man noch berücksichtigt, dass die Chinesen mit Pinsel und Tusche malen, während die Inder ihre Schriftzeichen auf Baumrinde, Palmblätter, Metalle usw. einritzten; diese Verschiedenheit des Schriftmittels gibt den Schriftzeichen jedesmal ein anderes Gepräge und hat gewisse Veränderungen derselben zur Folge. Auch die Null ist den Chinesen von Indien her bekannt geworden.

Eine zweite Theorie stammt von dem russischen Gelehrten N. M. Bubnov, der in zwei in russischer Sprache geschriebenen Büchern[3]) zu dem Resultat kommt, dass unsere modernen europäischen Ziffern keinerlei Zusammenhang mit Indien haben, sondern dass sie die durch Schnellschrift umgeformten Ziffern der Abacisten seien, denen sie gewiss nicht aus Indien bekannt wurden, und von denen sie zu den Arabern übergingen. Diese Abacisten sollen nach Bubnov die Positionsarithmetik selbständig und unabhängig von den Arabern und Indern erfunden haben. Da ich der russischen Sprache nicht mächtig bin[4]), ist es mir nicht möglich, die Angaben Bubnovs kritisch zu prüfen, doch können seine Ausführungen unter keinen Umständen Anspruch auf eine endgültige Lösung der Frage machen, da die sämtlichen in diesem Aufsatz von uns vorgebrachten Tatsachen unmöglich mit Bubnovs Ansicht in Einklang zu bringen sind.

Wir verfolgen zum Schluss noch kurz die Entwicklung der Ziffern auf indischem Boden. Die heute in Indien für das Sanskrit vorwiegend gebrauchte Schriftart wird Devanagâri genannt: sie ist ein unmittelbarer Abkömmling der Brahmi. Die modernen

[1]) Y. Mikami, A Remark on the Chinese Mathematics in Cantor's Geschichte der Math. Arch. der Math. u. Phys. (3) **15**, 70 (1909.)

[2]) Man findet sie abgebildet bei Löffler Seite 84.

[3]) Arithmetische Unabhängigkeit der europäischen Kultur. Kulturhistorische Studien. Kiew 1908; Ursprung und Geschichte unserer Ziffern. Paläographischer Versuch. Kiew 1908.

[4]) Den Inhalt der erwähnten Schriften kenne ich aus dem Bericht in dem „Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik für das Jahr 1908." Berlin 1910.

in Indien gebräuchlichen Ziffern (Devanagârî-Ziffern) sind die Abkömmlinge der oben geschilderten Positionsziffern. Neben diesen Devanagârî-Ziffern sind in Vorderindien eine grosse Zahl von Variationen derselben gebräuchlich; doch wird mit wenigen Ausnahmen in allen indischen Ziffernsystemen das Prinzip der Position benützt. Die zahlreichen und z.T nicht unbedeutenden Abweichungen in der Form dieser Ziffern, welche sich bei den verschiedenen Völkerschaften Indiens finden, können uns hier nicht beschäftigen; man findet eine reiche Zusammenstellung derselben bei Pihan, a. a. O. Seite 53 bis 161; doch sei erwähnt, dass in der Zahlbezeichnung des Hindustani die modernen Ziffern der Araber benützt werden, und dass die Bewohner von Kaschmir am nordwestlichen Rand des Himalaya statt der kreisförmigen Null noch heute einen Punkt verwenden.

Besonders interessant aber ist die Zahlbezeichnung der Tamulen[1]). Dieses Volk ist der Hauptstamm der alten dunkelfarbigen Urbewohner Indiens, die von den eindringenden Ariern verdrängt wurden und unter dem Namen Dravida bekannt sind. Sie bewohnen den Südwesten Vorderindiens sowie den Norden und Nordwesten der Insel Ceylon; ihre Sprache ist mit dem Sanskrit nicht verwandt; ihre Schrift, das Tamil[2]), weicht in vielen Punkten von der Devanagârî ab. Dieser Stamm sowie die Bewohner der Küste Malabar machen heute noch keinen Gebrauch von der Null. Ihre Zahlzeichen, zwölf an der Zahl, sind den tamulischen Schriftzeichen entnommen und stellen die Zahlen 1 bis 10, 100 und 1000 dar. Um die übrigen Zehner, Hunderter und Tausender darzustellen, werden die Zeichen der betreffenden Einerzahl diesen Rangzahlen als multiplikative Faktoren vorangestellt; im übrigen aber wird das Positionssystem benützt, indem das Zeichen für den Zehner usw. unterdrückt wird. Wenn wir also die tamulischen Zeichen durch unsere eigenen und durch römische Ziffern ersetzen, so ist 18 = X8; 20 = 2.X; 21 = 21 (statt 2X1). Die Darstellung der Zahlen 10, 100, 1000 mit Hilfe von Nullen, welche die Europäer einzuführen suchen, stösst bei den Eingeborenen auf grossen Widerstand und verbreitet sich nur langsam.

[1]) Pihan, a. a. O. S. 113 121.

[2]) Über die Schrift der Tamulen und anderer dravidischer Stämme siehe B. I. P. S. 70 72 und Tafel VIII, Spalte XVI bis XXII.

Ganz dasselbe Prinzip befolgen, wie schon erwähnt wurde, die Bewohner der Küste Malabar[1]). Die übrigen dravidischen Sprachen und Dialekte benützen zwar die Null und haben deshalb nur 10 Zahlzeichen; aber diese Ziffern zeigen mit Ausnahme der Null, keine Ähnlichkeit mit den Devanagâri-Ziffern, sondern sind wie im Tamil aus Zeichen des Alphabets entwickelt[2]). Von der Zahlbezeichnung der Singhalesen, die von den Tamulen in das südlichste Drittel Ceylons zurückgedrängt worden sind, haben wir oben schon gesprochen.

Wir fassen zum Schluss die Resultate unserer Untersuchung in folgenden Sätzen zusammen:

1. Die älteste Zahlbezeichnung der Inder ist aus Aegypten entlehnt; die einzelnen Zeichen wurden von den Brahmanen grösstenteils in Buchstaben und Silbenzeichen der Brahmi verwandelt.
2. Schon zu Anfang unserer Zeitrechnung wurden die Zeichen für die Einer zum Rechnen auf einer Art Abacus benützt und erhielten so allmählich Stellenwert; bald darauf kam ein Zeichen für die leere Stelle in Form eines Punktes hinzu. Diese Positionsziffern dienten jedoch lange Zeit hindurch im wesentlichen nur zum Rechnen in Verbindung mit jenem Abacus, während zum Schreiben der Zahlen die alten Brahmi-Ziffern benützt wurden; erst im 11. bis 12. Jahrhundert verdrängten sie die alte Zahlbezeichnung.
3. Unsere sog. „arabischen“ Ziffern, die Ziffern der Araber und die Ziffern des Devanagâri sind Abkömmlinge jener alten Positionsziffern. Bei dem Übergang dieser Ziffern von den Indern zu den Arabern und ins christliche Abendland spielen die christlichen Syrer eine wesentliche Rolle.
4. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die heute in Ostasien gebräuchlichen Ziffern ebenfalls auf indische Vorbilder zurückzuführen sind.
5. In den dravidischen Sprachen Indiens werden heute noch Buchstabenzahlen geschrieben; sie haben aber das Prinzip der Position und, mit Ausnahme des Tamil, die Null angenommen.

[1]) Pihan, a. a. O. Seite 122 125.
[2]) Pihan, a. a. O. Seite 126 137.

Wie lassen sich mit möglichst wenig Ziffern möglichst grosse Zahlen darstellen?*)

Von Oberstudienrat **Neuffer.**

Die folgende Untersuchung hat es bei ihrem Hauptgegenstand mit eigentlichen Zahlen d. h. mit Zahlen zu tun, denen die Mathematik die Eigenschaften positiv, ganz, reell beilegt.

Das ursprüngliche Verfahren der Bildung solcher Zahlen ist das Zählen und zwar das Vorwärtszählen. Dieses lässt sich abkürzen durch die Addition, die Addition hinwiederum, bei Gleichheit der Summanden, durch die Multiplikation, die Multiplikation endlich, bei Gleichheit der Faktoren, durch die Potenzierung. Weitere Stufen der Abkürzung bestehen nicht. Jene drei Abkürzungen führen zu den drei zusammengesetzten Zahlformen der Summe, des Produkts und der Potenz, für zwei Zahlen a und b zu den Formen $a + b$, $a . b$, a^b und b^a. a und b bilden nur eine Summe und ein Produkt, aber zwei Potenzen. Dies ist die Folge davon, dass die Summanden einer Summe und die Faktoren eines Produkts vertauscht werden können, Potenzgrundzahl und Potenzexponent aber nicht.

Für Summe, Produkt und Potenzen aus zwei eigentlichen und überhaupt aus zwei positiven reellen Zahlen stellen wir folgende (im Anhang zu beweisende) Sätze auf:

I. Summe, Produkt und Potenz aus zwei positiven reellen Zahlen wachsen mit diesen; doch muss bei Potenzen die Grundzahl grösser als 1 sein, wenn sie mit dem Exponenten wachsen sollen.

II. Jede Potenz aus zwei positiven reellen Zahlen ist grösser als ihr Produkt, ihr Produkt grösser als ihre Summe, wenn die eine der Zahlen grösser, die andere nicht kleiner als 2 ist.

*) Nach einem am 28. November 1910 im Verein für Mathematik und Naturwissenschaften in Ulm gehaltenen Vortrag.

III. Von den beiden Potenzen, die sich aus zwei positiven reellen Zahlen bilden lassen, ist diejenige die grössere, die den grösseren Exponenten hat; doch ist vorausgesetzt, dass die eine Zahl grösser, die andere nicht kleiner ist als die Grundzahl der natürlichen Logarithmen, die bekanntlich den Wert hat

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \ldots .$$
$$= 2{,}71828 \ldots .$$

Mit Hilfe dieser Sätze können wir die Frage, die den Gegenstand unserer Untersuchung bildet, beantworten, die Frage: wie lassen sich mit möglichst wenig Ziffern möglichst grosse Zahlen darstellen?

Zunächst ist unmittelbar einleuchtend, dass die grösste einziffrige Zahl auf dem Boden unseres Zahlensystems, des Zehnersystems, durch dessen höchste Ziffer 9 dargestellt ist.

Die grösste zweiziffrige Zahl ist aus zwei einziffrigen Zahlen zusammengesetzt, deren jede nach Satz I möglichst gross, also 9 sein muss. Die Art der Zusammensetzung aber ist nach Satz II die Potenzierung. Die grösste zweiziffrige*) Zahl ist daher 9^9.

Die grösste dreiziffrige Zahl ist nach Satz I und II aus der grössten einziffrigen und der grössten zweiziffrigen Zahl, aus 9 und 9^9, durch Potenzierung zu bilden. Es ist nur die Frage, ob die Potenz $(9^9)^9$ oder $9^{(9^9)}$ zu wählen ist. Satz III entscheidet diese Frage: die Potenz mit dem grösseren Exponenten $9^{(9^9)}$ ist grösser als die mit dem kleineren $(9^9)^9$, also ist $9^{(9^9)}$ die grösste dreiziffrige Zahl.

Nach derselben Regel wie die grösste dreiziffrige ist die grösste vierziffrige Zahl zu bilden: wir erhalten diese, wenn wir 9 mit der grössten dreiziffrigen Zahl potenzieren; sie ist also dargestellt durch $9^{[9^{(9^9)}]}$. Alle anderen möglichen Verbindungen der vier Neuner ergeben kleinere Zahlen; denn alle lassen sich auf Potenzen von 9 zurückführen, deren Exponenten nach den Sätzen II und III und den Regeln der Potenzrechnung kleiner

*) Ziffernzahl und Stellenzahl dürfen nicht verwechselt werden.

sind als $9^{(9^9)}$. Z. B. $(9^9)^{(9^9)}$ ist $= 9^{[9.9^9]}$; aber 9.9^9 ist nach Satz II kleiner als $9^{(9^9)}$.

Die Fortsetzung der vorstehenden Erwägungen ergibt den allgemeinen Satz: die grösste n-ziffrige Zahl ist die Potenz von 9, deren Exponent die grösste (n −1) ziffrige Zahl ist.*)

Bezeichnen wir nun die grössten 1—, 2 –, 3— . . ziffrigen Zahlen mit $Z_1, Z_2, Z_3 \ldots$, so ist

$$Z_1 = 9,$$

$$Z_2 = 9^{Z_1}$$

$$= 1 + \frac{Z_1.(l\,9)}{1!} + \frac{Z_1^2.(l\,9)^2}{2!} + \frac{Z_1^3.(l\,9)^3}{3!} + \ldots$$

$$= 1 + \frac{9.(l\,9)}{1!} + \frac{9^2.(l\,9)^2}{2!} + \frac{9^3.(l\,9)^3}{3!} + \ldots,$$

$$Z_3 = 9^{Z_2}$$

$$= 1 + \frac{Z_2.(l\,9)}{1!} + \frac{Z_2^2.(l\,9)^2}{2!} + \frac{Z_2^3.(l\,9)^3}{3!} + \ldots$$

$$= 1 + \frac{9^9.(l\,9)}{1!} + \frac{9^{2.9}.(l\,9)^2}{2!} + \frac{9^{3.9}.(l\,9)^3}{3!} + \ldots,$$

$$Z_4 = 9^{Z_3}$$

$$= 1 + \frac{Z_3.(l\,9)}{1!} + \frac{Z_3^2.(l\,9)^2}{2!} + \frac{Z_3^3.(l\,9)^3}{3!} \ldots$$

u. s. w.

Hieraus folgt

$$Z_2 : Z_1 = \frac{1}{Z_1} + \frac{l(9)}{1!} + \frac{Z_1.(l\,9)^2}{2!} + \frac{Z_1^2.(l\,9)^3}{3!} + \ldots$$

$$= \frac{1}{9} + \frac{l(9)}{1!} + \frac{9.(l\,9)^2}{2!} + \frac{9^2.(l\,9)^3}{3!} + \ldots,$$

$$Z_3 : Z_2 = \frac{1}{Z_2} + \frac{l(9)}{1!} + \frac{Z_2.(l\,9)^2}{2!} + \frac{Z_2^2.(l\,9)^2}{3!} + \ldots$$

$$= \frac{1}{9^9} + \frac{l(9)}{1!} + \frac{9^9.(l\,9)^2}{2!} + \frac{9^{2.9}.(l\,9)^3}{3!} + \ldots$$

u. s. w.

*) Man könnte solche Zahlen mit Rücksicht auf ihren Bau als Potenzen Hochzahlen nennen.

Diese Reihen zeigen nicht nur, was selbstverständlich ist, dass die Z-Zahlen mit ihrer Ordnung rasch wachsen, sondern auch, dass das Verhältnis jeder solchen Zahl zur vorangehenden von Stufe zu Stufe grösser wird, dass also jede Z-Zahl gegenüber der vorangehenden sehr gross, noch viel mehr aber gegenüber den folgenden sehr klein ist.

Jene Reihen lassen uns aber auch nachträglich den Grund des bisher uns nur tatsächlich bekannt gewordenen Verhältnisses zwischen den Zehnerzahlen 9, 99, 999 . . . und den Z-Zahlen $9,\ 9^9,\ 9^{(9^9)}$ . . . erkennen.

Bezeichnen wir nämlich 9, 99, 999 . . mit N_1, N_2, N_3 . . , so ist

$$N_1 = 9,$$
$$N_2 = 10\,N_1 + 9,$$
$$N_3 = 10\,N_2 + 9,$$
$$N_4 = 10\,N_3 + 9$$

u. s. w.

$$\text{daher } N_2 : N_1 = 10 + \frac{9}{N_1} = 10 + \frac{1}{1},$$
$$N_3 : N_2 = 10 + \frac{9}{N_2} = 10 + \frac{1}{11},$$
$$N_4 : N_3 = 10 + \frac{9}{N_3} = 10 + \frac{1}{111}$$

u. s. w.

Nun ist $N_1 = Z_1$, die Verhältnisse $N_2 : N_1$, $N_3 : N_2$ u. s. w. aber sind kleiner als $Z_2 : Z_1$, $Z_3 : Z_2$ u. s. w., also $N_2 < Z_2$, $N_3 < Z_3$ u. s. w.

Hätten wir unserer Untersuchung statt des Zehnersystems ein beliebiges Zahlensystem zugrundegelegt, so hätten wir die noch allgemeinere Regel erhalten: die grösste n-ziffrige Zahl in einem System mit der Grundzahl a ist die Potenz von (a—1), deren Exponent die grösste (n—1) ziffrige Zahl des a—Systems ist. So erhalten wir z. B., (unter Anwendung der Zeichensprache des Zehnersystems), als grösste dreiziffrige Zahl des Vierersystems

$$3^{(3^3)} = 3^{27}$$
$$= 7\ 625\ 597\ 484\ 987.$$

Die grösste dreiziffrige Zahl im Elfersystem ist

$$10^{(10^{10})} = 10^{10\,000\,000\,000};$$

das ist eine Zahl mit 10 000 000 001 Stellen, geschrieben mit der Ziffer 1 und zehntausend Millionen Nullen.

Die soeben aufgestellte allgemeine Regel erfährt aber eine Einschränkung für das Dreier- und das Zweiersystem. Die grösste einziffrige Zahl des ersteren ist 2, die des letzteren 1; beide Zahlen entsprechen den Voraussetzungen der Sätze II und III nicht. Jene Regel gilt also für die beiden Zahlensysteme nicht. Das zeigt auch eine Probe. Es ist z. B.

$$2^2 = 2.2 = 2 + 2,$$

$$1^1 = 1.1 < 1 + 1.$$

Nicht ohne Interesse dürfte es sein, von den nach unserer Regel zu bildenden Zahlen des Zehnersystems wenigstens die niedrigsten näher zu betrachten.

Die kleinste ist 9. Sie lässt sich von der äusseren und inneren Anschauung als Ganzes und nach ihren Teilen unmittelbar erfassen. Freilich werden dabei wohl die meisten Menschen der Anschauung eine künstliche Stütze leihen, indem sie unwillkürlich und unbewusst jene Zahl 9 in drei Dreiergruppen oder in eine Vierer- und eine Fünfergruppe zerlegen.

Ganz unzugänglich für das unmittelbare Anschauen sind aber alle anderen Z-Zahlen. Sie sind wahre Grosszahlen; Mammutzahlen könnte man sie nennen. Keine menschliche Vorstellung vermag die Menge von Einheiten, die in einer solchen Zahl enthalten sind, unmittelbar zu erfassen und zusammenzufassen. Nur mittelbar und künstlich vermögen wir sie der Anschauung mehr oder weniger nahezubringen, indem wir fremdartige Massstäbe an sie anlegen.

Es ist $Z_2 = 9^9 = 387\,420\,489$. Diese Zahl können wir in wenigen Sekunden sprechen und schreiben. Wieviel Zeit ist aber erforderlich, um ihre Einheiten zu zählen? Zählt man in der Minute hundert, so braucht man zum Zählen einer Million 10000 Minuten oder rund 7 Tage, zum Zählen von $9^9 = 387\,420\,489$ ungefähr $7^1/_2$ Jahre. Bei wirklicher Ausführung der Zählung würde aber wegen der notwendigen Unterbrechungen dieser Zeitraum sich verdoppeln oder verdreifachen.

Eine andere Messung ergibt, dass ein Meridianbogen mit 9^9 Markstücken belegt vom Aequator bis über Spitzbergen hinaus sich erstrecken würde.

Die grösste dreiziffrige Zahl ist

$$9^{(9^9)} = 9^{387\,420\,489}$$

$$= 10^{\text{rund } 370\,000\,000}$$

oder gleich einer Zehnerzahl mit rund 370 000 000 Stellen.

Denken wir uns diese Zahl auf einem Papierstreifen so geschrieben, dass jede Ziffer eine Länge von 1 mm in Anspruch nimmt, so muss der Streifen eine Länge von etwa 370 km haben. Das ist ungefähr die Länge des Weges Ulm—Köln.

So bildet sich uns eine gewisse Vorstellung von der Ziffernreihe oder der Stellenmenge der Grosszahl Z_3. Wie können wir aber zu einer, wenn auch unvollkommenen, Vorstellung von ihrem eigentlichen Bestand, von der Menge ihrer Einheiten gelangen, die etwas ganz anderes ist als die Menge ihrer Stellen oder Ziffern?

Wir legen zwei Masstäbe an, einen möglichst grossen und einen möglichst kleinen.

Den letzteren bilde ein Sonnenstäubchen, das wir der einfachen Rechnung halber würfelförmig annehmen und dem wir eine Kantenlänge von 0,001 mm $= 10^{-9}$ km beilegen. Der Rauminhalt S dieses Stäubchens ist dann gleich 10^{-27} cbkm, also so klein, dass 1000 Millionen solcher Stäubchen in einem Würfelchen von 1 mm Kantenlänge Platz finden.

Das grösste Mass aber, das uns die Erfahrung bietet, ist der Weltraum, soweit er unseren Sinnen zugänglich ist. Nehmen wir an, die Entfernung der letzten mit Hilfe von Fernrohr und Himmelsphotographie wahrnehmbaren Weltkörper betrage 50 000 Lichtjahre oder rund 500000 Billionen km, der Durchmesser des Weltraums also eine Trillion km, und behandeln wir auch den Weltraum als würfelförmig, so ergibt sich für dessen Inhalt W die Grösse 10^{54} cbkm. Der Weltraum fasst somit $\frac{10^{54}}{10^{-27}}$ oder 10^{81} Sonnenstäubchen von der oben angenommenen Grösse.

Nun stellen wir jede Einheit der Zahl Z_3 durch ein Sonnenstäubchen von jener Grösse dar und fragen: wie gross ist der

Raum R_3, den die Gesamtheit aller Einheiten von Z_3 auf diese Weise in Anspruch nimmt?

Die Antwort lautet:

$$\begin{aligned} R_3 &= 9^{(9^9)} \cdot S \\ &= 10^{\text{rund } 370\,000\,000} \cdot 10^{-27} \text{ cbkm} \\ &= 10^{\text{rund } 370\,000\,000-27} \text{ cbkm} \\ &= 10^{\text{rund } 370\,000\,000} \text{ cbkm.} \end{aligned}$$

Es ist daher

$$\begin{aligned} W : R_3 &= 10^{54} : 10^{\text{rund } 370\,000\,000} \\ &= 1 : 10^{\text{rund } 370\,000\,000-54} \\ &= 1 : 10^{\text{rund } 370\,000\,000} \end{aligned}$$

Diese Proportion zeigt, dass der Weltraum W gegenüber dem Raum R_3 fast völlig verschwindet. R_3 ist nicht bloss überhaupt viel grösser, sondern von einer viel höheren Grössenordnung als W. Nicht Billionen, nicht Centillionen von Welträumen reichen aus, um die zur Darstellung von $9^{(9^9)}$ erforderlichen Stäubchen zu fassen. Ein solches Stäubchen ist dem Weltraum gegenüber unvergleichlich viel grösser als der Weltraum dem Raum R_3 gegenüber. Denn es ist

$$\begin{aligned} S : W &= 10^{-27} : 10^{54} \\ &= 1 : 10^{81} \end{aligned}$$

ein Verhältnis, dem gegenüber

$$W : R_3 = 1 : 10^{\text{rund } 370\,000\,000}$$

kaum in Betracht kommt.*)

Von gewaltiger Grösse ist $9^{(9^9)}$ auch gegenüber der andern Dreineunerzahl $(9^9)^9$. Diese ist zwar an sich sehr gross; sie ist rund gleich 200000 Duodezillionen, hat also 78 Stellen und würde, durch Stäubchen in der oben angegebenen Weise dargestellt, den 5000sten Teil des Weltraums W in Anspruch nehmen.**) Aber im Vergleich mit der vielmillionenstelligen Zahl $9^{(9^9)}$ ist sie

*) Ähnliche Veranschaulichungsversuche für $9^{(9^9)}$ von Prof. Sauter finden sich in den Vereinsmitteilungen des Jahres 1901.

**) Für $Z_2 = 9^9$ wäre der Raum von weniger als einem halben Kubikmillimeter ausreichend.

fast verschwindend. Eine kleine Klammerversetzung hat so eine ungeheure Änderung des Zahlwerts zur Folge.

Versuchen wir, die Zahl Z_4 unserem Vorstellen, soweit möglich, näher zu bringen, so werden wir wohl am zweckmässigsten sie mit der Grosszahl Z_3 vergleichen und die Frage stellen: wieviele Z_3 enthält Z_4?

Nach den vorstehenden Ausführungen ist

$$Z_3 = 10^{\text{rund 370 000 000}}$$

oder gleich einer Zehnerzahl mit rund 370 000 000 Stellen;

ferner ist $Z_4 = 9^{Z_3}$

$$= 9^{\text{Zahl mit rund 370 000 000 Stellen}}$$

$$= 10^{\text{Zahl mit rund 370 000 000 Stellen.}}$$

Hieraus folgt

$$Z_4 = \frac{10^{\text{Z. m. rd. 370 000 000 St.}}}{10^{\text{rund 370 000 000}}} \cdot Z_3$$

$$= 10^{\text{Z. m. rd. 370 000 000 St. — rd. 370 000 000 Einh.}} \cdot Z_3$$

$$= 10^{\text{Z. m. rd. 370 000 000 St. — Z. m. 9 St.}} \cdot Z_3$$

$$= 10^{\text{Z. m. rd. 370 000 000 St.}} \cdot Z_3.$$

Diese Gleichung in Verbindung mit $Z_3 = 10^{\text{Z. m. 9 St.}} \cdot 1$ lässt erkennen, dass die Menge der in Z_4 enthaltenen Z_3 unermesslich viel grösser ist als die Menge der in Z_3 enthaltenen Einheiten. Stellen wir also die Riesenzahl Z_3 durch ein Sonnenstäubchen von der Grösse S dar, so erfordert die Aufnahme der Stäubchen, die der Zahl Z_4 entsprechen, eine Zahl von Welträumen, mit der die oben für die Darstellung von Z_3 in Anspruch genommene Zahl gar nicht verglichen werden kann.

Der ungeheure Unterschied zwischen Z_3 und Z_4 tritt aber auch darin zutage, dass Z_3 sich als gewöhnliche Zehnerzahl schriftlich und mündlich darstellen liesse, wenn auch unter Aufwand eines Zeitraums von Jahren, für Z_4 aber eine solche Darstellung ausser allem Bereich praktischer Möglichkeit liegt. Nur mit Hilfe von Exponenten d. h. Logarithmen können wir Z_4 darstellen.

Ebenso erscheint im Vergleich mit anderen Vierneunerzahlen Z_4 von übermächtiger Grösse; z. B. $\left[(9^9)^9\right]^9$ ist eine Zahl

mit 696, $(9^9)^{(9^9)}$ eine solche mit rund 3300 Millionen Stellen. Beides sind wohl an sich ausserordentlich grosse Zahlen, aber hinter Z_4 bleiben sie ungeheuer weit zurück.

Freilich der Fünfneunerzahl Z_5 gegenüber sinkt Z_4 fast ins Nichts. Wie diese Zahl unvergleichlich gross ist im Verhältnis zu Z_3, so ist sie noch viel mehr unvergleichlich klein im Verhältnis zu der Zahl Z_5, die wie ein uferloses Meer vor uns liegt. Mit Z_5 und gar mit den darüber hinausliegenden Zahlgebilden Z_6, Z_7 u.s.w. treten Grössen in unsern Gesichtskreis, die einem Reiche des Unfassbaren angehören. Unermessliches folgt auf Unermessliches, jedes übergewaltig gegenüber dem vorangehenden und fast ein Nichts gegenüber dem folgenden. Alles menschliche Vorstellungsvermögen und alle menschliche Erfahrung, alle daraus entnommenen Massstäbe und alle darauf gegründeten Veranschaulichungsversuche müssen hier völlig versagen.

Und doch ist der menschliche Geist Herr auch jener ungeheuren Grössen. Wo die Anschauung versagt, da bietet sich als ein nicht versagendes Mittel des Anfassens und Festhaltens der Begriff und das Symbol. Mit Hilfe des Begriffs der Potenz und einfacher, aus wenigen Ziffern und Klammerpaaren bestehender Symbole vermag die Mathematik weltensprengende Grössen darzustellen. Und nicht bloss darzustellen überhaupt, sondern darzustellen auf eine in ihrer Art vollkommene Weise. Jene Zeichen und die in ihnen zur Erscheinung kommenden Begriffe sind von einer Gedrängtheit und Geschlossenheit, von einer Klarheit und Durchsichtigkeit, von einer Schärfe und Bestimmtheit, von einer Zusammenstimmung, die kaum übertroffen werden können. Sie sagen nicht zu wenig, sie sagen nicht zu viel und sie gewähren ausserdem einen vollkommenen Einblick in das Werdegesetz ihres Gegenstandes.

Und wie vermögen sie das? Sie verwirklichen das Göthewort:

Dich im Unendlichen zu finden,
Musst unterscheiden und dann verbinden.

Anhang.

Beweis der Sätze I/III.

Satz I. Summe, Produkt und Potenz aus zwei positiven reellen Zahlen wachsen mit diesen; doch muss bei Potenzen die Grundzahl grösser als 1 sein, wenn sie mit dem Exponenten wachsen sollen.

Beweis. Es seien a und b zwei beliebige positive Zahlen, von den Zahlen x und y sei die eine grösser, die andere nicht kleiner als 0.

Es gilt dann:

1) $(a + x) + (b + y) = a + b + x + y$
$> a + b.$

2) $(a + x)(b + y) = a b + a y + b x + x y$
$> a b.$

3) $(a + x)^{(b + y)} = a^b . a^y . (1 + \frac{x}{a})^{(b + y)}$
$> a^b$, wenn $a > 1$ ist.

Satz II. Jede Potenz aus zwei positiven reellen Zahlen ist grösser als ihr Produkt, ihr Produkt grösser als ihre Summe, wenn die eine der Zahlen grösser, die andere nicht kleiner als 2 ist.

Beweis. Es sei $a = 2 + x$, $b = 2 + y$, von den beiden Zahlen x und y sei die eine grösser, die andere nicht kleiner als 0. Dann gilt:

1) $a + b = (2 + x) + (2 + y)$
$= 4 + x + y;$
$a b = (2 + x).(2 + y)$
$= 4 + 2 (x + y) + x y$
$> 4 + x + y$ d. h.
$a b > a + b.$

2) $a^b = (2+x)^{2+y}$

$= (2+x)^2 . (2+x)^y$

$= (4+4x+x^2) . \left\{ 1 + \frac{y . l(2+x)}{1!} + \frac{y^2 . [l(2+x)]^2}{2!} + \ldots \right\}$

$= 4 + 4x + 4l(2+x) . y + 4l(2+x) . xy + \ldots$

$= 4 + 4x + 2l(2+x)^2 . y + 2l(2+x)^2 . xy + \ldots$

Nun ist $l(2+x)^2 = l(4+4x+x^2)$

> 1 e d. h. > 1, somit

$l(2+x)^2 = 1 + k$, wo $k > 0$, daher

$a^b = 4 + 4x + 2(1+k)y + 2(1+k)xy + \ldots$

$= 4 + 2(x+y) + 2x + 2xy + 2ky + 2kxy + \ldots$

$> 4 + 2(x+y) + xy$ d. h.

$a^b > ab$.

Satz III. Von den beiden Potenzen, die sich aus zwei positiven reellen Zahlen bilden lassen, ist diejenige die grössere, die den grösseren Exponenten hat; doch ist vorausgesetzt, dass die eine Zahl grösser, die andere nicht kleiner ist als die Grundzahl der natürlichen Logarithmen e.

Beweis. Es sei a nicht kleiner als e, b grösser als a oder $b = a^x$, wobei x grösser als 1 ist, daher

$b^a = a^{ax}$,

$a^b = a^{(a^x)}$.

Nun ist $a^x = a . a^{x-1}$

$= a . \left\{ 1 + \frac{(x-1)\,la}{1!} + \frac{(x-1)^2 (la)^2}{2!} + \ldots \right\} \ldots$

Aus $a \lesseqgtr e$ aber folgt

$la \lesseqgtr 1$, daher

$a^x \lesseqgtr a . \left\{ 1 + \frac{x-1}{1!} + \frac{(x-1)^2}{2!} + \ldots \right\}$ oder

$a^x \lesseqgtr a + ax - a + \ldots$

$> ax$, somit

$a^{(a^x)} > a^{ax}$ oder

$a^b > b^a$.

Anderer Beweis. Es sei a nicht kleiner als e, b grösser als a oder $b = a(n + x)$, wobei n nicht kleiner als 1 und ganz, x nicht grösser als n und nicht kleiner als 0 ist. Es gilt dann

$$b^a = a^a(n + x)^a$$
$$= (an)^a.(1 + \frac{x}{n})^a,$$
$$lb^a = a.l(an) + a.l(1 + \frac{x}{n}.)$$
$$= a.l(an) + a.\left\{\frac{x}{n} - \frac{1}{2}\frac{x^2}{n^2} + \frac{1}{3}\frac{x^3}{n^3} - + \ldots\right\}$$
$$= a.l(an) + a.\left\{\frac{x}{n} - \left[\frac{1}{2}\frac{x^2}{n^2} - \frac{1}{3}\frac{x^3}{n^3}\right] - \left[\,.\,.\right] - \,.\,.\right\},$$

wobei die in Klammern [ ] gesetzten Differenzen positiv sind, also

$$lb^a = a.l(an) + a.\frac{x}{n} - \ldots$$

Nun ist

$$an = a.\frac{2}{1}.\frac{3}{2}.\frac{4}{3}\ldots\frac{n}{n-1}, \text{ daher}$$
$$l(an) = la + l\frac{2}{1} + l\frac{3}{2} + l\frac{4}{3} + \ldots + l\frac{n}{n-1},$$
$$lb^a = a.\left\{la + l\frac{2}{1} + l\frac{3}{2} + l\frac{4}{3} + \,.\,. + l\frac{n}{n-1}\right\} + a.\frac{x}{n} - \ldots$$

Ferner ist

$$a^b = a^{an.(1 + \frac{x}{n})},$$
$$la^b = an.(1 + \frac{x}{n}).la$$
$$= an.la + a.la.x.$$

Aus $la \lessgtr 1 > l\frac{2}{1} > l\frac{3}{2} > l\frac{4}{3} \ldots > l\frac{n}{n-1}$ aber folgt

$$an.la \lessgtr a.\left\{la + l\frac{2}{1} + l\frac{3}{2} + l\frac{4}{3} + \,.\,. + l\frac{n}{n-1}\right\},$$

und da ausserdem

$$a.la.x \lessgtr a.\frac{x}{n}, \text{ weil}$$
$$la \lessgtr 1 \text{ und } n \lessgtr 1 \text{ ist, gilt}$$
$$an.la + a.la.x > a.\left\{la + l\frac{2}{1} + l\frac{3}{2} + l\frac{4}{3} + \,.\,. + l\frac{n}{n-1}\right\}$$
$$+ a.\frac{x}{n} - \ldots \text{ d. h.}$$
$$la^b > lb^a, \text{ woraus folgt}$$
$$a^b > b^a.$$

Ueber die Lösung der Preisaufgabe: „Auf wie viele verschiedene Arten kann in deutschen Münzen ein Taler gewechselt werden?“

Von Professor **Sauter** in **Ulm**.

In der Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, in den Unterrichtsblättern für Mathematik und Naturwissenschaften und in verschiedenen anderen Zeitschriften und Zeitungen, wurde im Herbst 1910 die obige Preisaufgabe gestellt, für deren richtige und vollständige Lösung ein Liebhaber der Mathematik, der nicht genannt sein wollte, einen Preis von Mk. 100.— ausgesetzt hatte.

Die Lösungen waren bis zum 31. Dezember 1910 an Herrn P. v. Schaewen in Naumburg a. S. einzusenden. Dieses Preisausschreiben hatte, wie später Herr v. Schaewen in der Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, 42. Jahrgang, 3. Heft auf Seite 192, veröffentlichte, weite Kreise auf das lebhafteste interessiert. Nicht weniger als 968 Zuschriften liefen bis zum verlangten Schlusstermin ein, von denen jedoch nur 185 Lösungen den Bedingungen des Preisausschreibens genügten. Die Löser gehörten den verschiedensten Berufen an; an dem Wettbewerb beteiligten sich Berufsmathematiker, Volksschullehrer, Geistliche, Offiziere, Studenten, Kaufleute, Arbeiter u.s.w. Der ausgesetzte Preis von Mk. 100.— fiel durch das Los einem schlichten Arbeiter, dem Herrn Max Lange in Augustusburg (im Erzgebirge) zu. Herr v. Schaewen bemerkt in seiner oben erwähnten Veröffentlichung, dass der Gewinner, Herr M. Lange, in seiner Jugend offenbar eine sehr bescheidene Schulbildung erhalten habe, daher sei die von ihm eingesandte Lösung auch nicht druckfertig, aber sie sei richtig und vollständig und sei

übrigens nicht die einzige derartige Lösung, die aus Arbeiterkreisen stammte. Manche Lösungen seien äusserst umfangreich gewesen, so hätten z. B. 13 Lösungen von der Post nur als Pakete befördert werden können. Wieder andere Lösungen seien so knapp gehalten gewesen, dass man einen Kommentar dazu hätte liefern müssen, damit sie von jedem hätten verstanden werden können.

Über diese Preisaufgabe sind bis jetzt 2 Lösungen bekannt gegeben worden. Die eine hat Herr P. v. Schaewen in Heft 3, 42. Jahrgang, Seite 193, der Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht bekannt gegeben. Er bezeichnet sie dort als diejenige Lösung, die er selbst eingesandt haben würde, wenn er nicht, in seiner Eigenschaft als Preisrichter, von der Preisbewerbung ausgeschlossen gewesen wäre. Die Art und Weise der Lösung selbst ist in der betreffenden Zeitschrift kurz angedeutet und möchte ich, wer sich hiefür interessiert, auf diese Zeitschrift selbst verwiesen haben.

Eine andere Lösung hat ein Herr E. Holländer in Hildesheim in Heft 4 der oben genannten Zeitschrift, 42. Jahrgang, Seite 262 veröffentlicht, auf deren Einzelheiten ich hier ebenfalls nicht eingehen, sondern auf die betreffende Abhandlung selbst verwiesen haben möchte.

Ausser diesen 2 bis jetzt bekannt gegebenen Lösungen, sind mir keine weiteren bekannt. Ich erlaube mir daher, nachstehend die Lösung bekannt zu geben, die ich selbst an Herr v. Schaewen nach Naumburg eingesandt habe.

Da es sich in der Aufgabe um das Wechseln eines Talers, bezw. eines Dreimark-Stückes handelt, so können von den deutschen Münzen nur die 8 niederen Sorten, nämlich das Zweimarkstück, das Einmarkstück, das 50-Pfennigstück, das 25-Pfennigstück, das 10-Pfennigstück, das 5-Pfennigstück, das 2-Pfennigstück und das 1-Pfennigstück in Betracht kommen.

Da ferner in dem der Aufgabe beigegebenen Text besonders hervorgehoben wurde, dass es sich bei der Lösung der Aufgabe nicht etwa darum handle, alle etwaigen Möglichkeiten, einen Taler zu wechseln, aufzustellen, sondern darum, die Anzahl dieser Möglichkeiten zu berechnen, so handelt es sich in der Hauptsache darum, eine allgemeine Formel über die Zahl der Mög-

lichkeiten aufzustellen, eine gewisse Anzahl von Mark in den oben genannten 8 Münzsorten auszubezahlen.

Die folgenden Ausführungen bringen am Schluss eine allgemeine Formel für die Ausbezahlung von 100 $(2n + 1)$ Pfennigen in diesen 8 Münzsorten, woraus sich dann für $n = 1$ sofort das gewünschte Resultat für die Anzahl der Möglichkeiten, einen Taler, nämlich 300 Pfennige, in den obigen Münzsorten umzuwechseln, ergibt.

Die Herleitung der betreffenden allgemeinen Formel ist jedoch nicht so einfach, als man es auf den ersten Blick sich vielleicht vorstellen mag. Die Herleitung muss Schritt für Schritt erfolgen und mit den untersten Münzsorten beginnen.

Sollen $10n$ Pfennige in Zweipfennig- und Einpfennig-Stücken ausbezahlt werden, so können offenbar auf so viele Arten Zweipfennigstücke benützt werden, als die Zahl 2 in der Zahl $10n$ enthalten ist, d. h. auf $5n$ Arten, wobei der Rest immer in Einpfennigstücken ausbezahlt wird, ausserdem kann die ganze Summe noch auf 1 Art in lauter Einpfennigstücken bezahlt werden. Die gesuchte Zahl der Arten ist also $= 5n + 1$. So kann man z. B. 30 Pfennig auf $(5. 3 + 1) = 16$ Arten, 40 Pfennige auf $(5. 4 + 1) = 21$ Arten, 50 Pfennige auf $(5. 5 + 1) = 26$ Arten in Zwei- und Einpfennig-Stücken ausbezahlen.

Sollen ferner $(10n — 5)$ Pfennige in Zweipfennig- und Einpfennig-Stücken ausbezahlt werden, so kann man hier nur so oft mal Zweipfennigstücke benützen, als die Zahl 2 in $(10n — 5 — 1)$ d. h. in $(10n — 6)$ enthalten ist, d. h. $(5n — 3)$ mal, wobei zum Bezahlen des Restes immer Einpfennigstücke zu benützen sind. Ausserdem kann, wie vorhin, die ganze Summe noch auf 1 Art in Einpfennigstücken bezahlt werden, im ganzen also auf $(5n — 3 + 1)$ oder auf $(5n — 2)$ Arten. So können z. B. 35 Pfennig auf $(5. 4 — 2)$, d. h. auf 18 Arten und 45 Pfennig auf $(5. 5 — 2)$, d. h. auf 23 Arten in Zwei- und Einpfennigstücken ausbezahlt werden.

Geht man nun einen Schritt weiter und benützt auch das Fünfpfennigstück zum Ausbezahlen, so erhält man zunächst folgende Ausbezahlungsmöglichkeiten:

10 Pf.				20 Pf.				30 Pf.				40 Pf.			
5	2	1		5	2	1		5	2	1		5	2	1	
2	—	—	1	4	—	—	1	6	—	—	1	8	—	—	21
1	.	.	3	3	.	.	3	5	.	.	3	7	.	.	18
—	.	.	6	2	.	.	6	4	.	.	6	6	.	.	16
Anzahl = 10				1	.	.	8	3	.	.	8	5	.	.	13
				—	.	.	11	2	.	.	11	4	.	.	11
				Anzahl = 29				1	.	.	13	3	.	.	8
								—	.	.	16	2	.	.	6
								Anzahl = 58				1	.	.	3
												—	.	.	1
												Anzahl = 97			

u.s.w.

Anmerkung: Die Punkte sollen allgemein die Ausbezahlung in den niederen Geldsorten, also hier in Zweipfennig- und Einpfennig-Stücken bedeuten. Die Anzahl der zugehörigen Möglichkeiten ergibt sich dann aus den obigen 2 Formeln $(5n+1)$ für $10n$ Pf., bezw. $(5n-2)$ für $(10n-5)$ Pf.

Betrachtet man die Reihe der obigen Werte:

$$\begin{array}{ccccccc} & 10 & 20 & 58 & 97 & \ldots \\ & & 19 & 29 & 39 & \ldots . \\ & & & 10 & 10 & \ldots . , \end{array}$$

so sieht man, dass man eine Reihe II. Ordnung hat, deren $n$tes Glied die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten für $10n$ Pfennige sofort angibt. Man erhält hiefür sofort den Wert:

$$10 + 19 \binom{n-1}{1} + 10 \binom{n-1}{1}.$$

Um auch für $(10n-5)$ Pfennige eine allgemeine Formel zu erhalten, berechne man zunächst die Ausbezahlungsmöglichkeiten für 5 Pf., 15 Pf., 25 Pf., 35 Pf., u.s.w.; man erhält dann, ähnlich wie oben:

5 Pf.				15 Pf.				25 Pf.				35 Pf.			
5	2	1		5	2	1		5	2	1		5	2	1	
1	—	—	1	3	—	—	1	5	—	—	1	7	—	—	1
—	.	.	3	2	.	.	3	4	.	.	3	6	.	.	3
Anzahl = 4				1	.	.	6	3	.	.	6	5	.	.	6
				—	.	.	8	2	.	.	8	4	.	.	8
				Anzahl = 18				1	.	.	11	3	.	.	11
								—	.	.	13	2	.	.	13
								Anzahl = 42				1	.	.	16
												—	.	.	18
												Anzahl = 76			

u.s.w.

Man erhält also die Reihe

$$\begin{array}{rrrrrr} & 4, & 18, & 42, & 76 & \ldots\ldots \\ & & 14 & 24 & 34 & \ldots\ldots \\ & & & 10 & 10 & \ldots\ldots \end{array}$$

und bekommt daraus für deren ntes Glied den Wert:

$$4 + 14.\binom{n-1}{1} + 10.\binom{n-1}{2}.$$

Nimmt man zum Wechseln auch noch das 10-Pfennig-Stück hinzu, so erhält man zunächst folgende Ausbezahlungsmöglichkeiten, wobei die oben gefundenen Resultate zu berücksichtigen sind:

10 Pf.					20 Pf.					30 Pf.				
10	5	2	1		10	5	2	1		10	5	2	1	
1	—	—	—	1	2	—	—	—	1	3	—	—	—	1
—	.	.	.	10	1	.	.	.	10	2	.	.	.	10
Anzahl = 11					—	.	.	.	29	1	.	.	.	29
					Anzahl = 40					—	.	.	.	58
										Anzahl = 98				

u.s.w.

Wie aus diesen Beispielen sofort geschlossen werden kann, ist die für 10n Pfennige sich ergebende Anzahl von Möglichkeiten nichts anderes als gleich der Summe (n + 1) ersten Glieder der Reihe II. Ordnung

$$\begin{array}{rrrrrr} & 1, & 10, & 29, & 58, & 97 \ldots\ldots \\ & & 9 & 19 & 29 & 39 \ldots\ldots \\ & & & 10 & 10 & 10 \ldots\ldots \end{array}$$

Man erhält dann sofort den Wert:

$$\binom{n+1}{1} + 9.\binom{n+1}{2} + 10.\binom{n+1}{3}.$$

Auf so viele Arten können also 10n Pfennige in 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken ausbezahlt werden. Für n = 10, d. h. für 100 Pfennige erhält man z. B. den Wert:

$$\binom{11}{1} + 9.\binom{11}{2} + 10.\binom{11}{3} = 11 + 9.\frac{11.10}{1.2} + 10.\frac{11.10.9}{1.2.3}$$

$$= 11 + 495 + 1650 = 2156.$$

Um auch für (10n—5) Pfennige die Zahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten zu erhalten, beachte man zunächst die folgenden Tabellen, wobei wiederum die Werte aus den vorhergehenden Reihen berücksichtigt sind:

15 Pf.				
10	5	2	1	
1	.	.	.	4
—	.	.		18
Anzahl = 22				

25 Pf.				
10	5	2	1	
2	.	.	.	4
1	.	.	.	18
—	.	.	.	42
Anzahl = 64				

35 Pf.				
10	5	2	1	
3	.	.	.	4
2	.	.	.	18
1	.	.	.	42
—	.	.	.	76
Anzahl = 140				

u.s.w.

Wie man sofort ersieht, ist bei (10n—5) Pfennigen die sich ergebende Zahl nichts anderes als gleich der Summe der n ersten Glieder der oben betrachteten Reihe II. Ordnung:

4, 18, 42, 76 . . . . .

Mit Berücksichtigung der oben angegebenen Differenzreihen ergibt sich dann der Wert:

$$4.\binom{n}{1} + 14.\binom{n}{2} + 10.\binom{n}{3}.$$

Für n = 10, d. h. für 95 Pf. erhält man z. B. den Wert:

$$\binom{10}{1}.4 + \binom{10}{2}.14 + \binom{10}{3}.10 = 10.4 + \frac{10.9}{1.2}.14 + \frac{10.9.8}{1.2.3}.10$$
$$= 40 + 45.14 + 120.10 = 40 + 630 + 1200 = 1870.$$

Nimmt man noch das 25-Pfennigstück hinzu, so empfiehlt es sich, sofort zur Aufstellung der allgemeinen Formel für die Ausbezahlung von 50n Pfennigen überzugehen. Man erhält dann zunächst

50 Pf.					
25	10	5	2	1	
2	—	—	—	—	1
1	.	.	.	.	64
—	.	.	.	.	341
Anzahl = 406					

100 Pf.				
25	10	5	2	1
4	—	—	—	1
3	.	.	.	64
2	.	.	.	341
1	.	.	.	984
—	.	.	.	2156
Anzahl = 3546				

150 Pf.					
25	10	5	2	1	
6	—	—	—	—	1
5	.	.	.	.	64
4	.	.	.	.	341
3	.	.	.	.	984
3	.	.	.	.	2156
1	.	.	.	.	4004
—	.	.	.	.	6696
Anzahl = 14246					

u.s.w.

Setzt man die oben für 50 Pf., 100 Pf. und 150 Pf. aus geführte Berechnung auf dieselbe Weise weiter fort, so erhält man für 200 Pf. den Wert 39831 für 250 Pf. den Wert 90126 und für 300 Pf. den Wert 177456 u.s.w. Man erhält dann eine Reihe 4ter Ordnung, deren n tes Glied die gesuchte Anzahl der betreffenden Ausbezahlungsmöglichkeiten darstellt.

Es ergibt sich also aus:

406, 3546, 14246, 39831, 90126, 177456 . . . .
3140 10700 25585 50295 87330 . . . .
7560 14885 24710 37035 . . . .
7325 9825 12325 . . . .
2500 2500 . . . .

der Wert

$$407 + 3140.\binom{n-1}{1} + 7560.\binom{n-1}{2} + 7325.\binom{n-1}{3} + 2500.\binom{n-1}{4}$$

als die Anzahl der Möglichkeiten 50n Pfennige in 25-, 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken auszubezahlen.

Geht man einen Schritt weiter und benützt auch noch das 50-Pfennigstück zum Wechseln, so hat man, um eine allgemeine Formel für die Ausbezahlung von 50n Pfennigen zu erhalten, zunächst die folgenden Beispiele zu beachten:

50 Pf.						
50	25	10	5	2	1	
1	—	—	—	—	—	1
—	.	.	.	.	.	406
Anzahl — 407						

100 Pf.						
50	25	10	5	2	1	
2	—	—	—	—	—	1
1	.	.	.	.	.	406
—	.	.	.	.	.	3546
Anzahl = 3953						

150 Pf.						
50	25	10	5	2	1	
3	—	—	—	—	—	1
2	.	.	.	.	.	406
1	.	.	.	.	.	3546
—	.	.	.	.	.	14246
Anzahl = 18199						

u.s.w.

Wie aus diesen Beispielen sofort ersichtlich ist, ist die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten für 50n-Pfennige nichts anders als gleich der Summe der n + 1 ersten Glieder der Reihe 4ter Ordnung.

1, 406, 3546, 14246, 39831, 90126 . . . .
405 3140 10700 25585 50295 . . . .
2735 7560 14885 24710 . . . . (*)
4825 7325 9825 . . . .
2500 2500 . . . .

Für die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten von 50n Pfennigen in 50-, 25-, 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken erhält man daher die Formel:

$$\binom{n+1}{1} + 405.\binom{n+1}{2} + 2735.\binom{n+1}{3} + 4825.\binom{n+1}{4} + 2500.\binom{n+1}{5}.$$

Man erhält dann aus dieser Formel der Reihe nach folgende Werte:

Für n =	1,	d. h. für	50	Pf. ergibt sich:	407 (vgl. Beisp. S. 78).
„ n =	2,	„ „	100	„ „ „	3953 („ „ „ „).
„ n =	3,	„ „	150	„ „ „	18199 („ „ „ „).
„ n =	4,	„ „	200	„ „ „	58030
„ n =	5,	„ „	250	„ „ „	148156
„ n =	6,	„ „	300	„ „ „	325612
„ n =	7,	„ „	350	„ „ „	643258
„ n =	8,	„ „	400	„ „ „	1167279
„ n =	9,	„ „	450	„ „ „	1989685
„ n =	10,	„ „	500	„ „ „	3220811
„ n =	11,	„ „	550	„ „ „	4996817
„ n =	12,	„ „	600	„ „ „	7481188

u.s.w.

Anmerkung:

Die detaillierte Berechnung der obenstehenden Zahlen habe ich, um die Lösung nicht zu weit auszudehnen, absichtlich weggelassen. Übrigens können diese Worte auch noch auf eine andere Art (s. nächste Seite) bestimmt werden.)

Anstatt in der letzten Formel der Reihe nach n = 1, dann 2, 3, 4, 5 . . . zu setzen, könnte man die Reihe der entsprechenden Zahlen auch rückwärts mit Hilfe der auf Seite 78 unten betrachteten Reihe (*) dadurch finden, dass man von der Reihe (*) die 1te Summenreihe bildet.

Man erhält dann die Reihe:

	1	407	3953	18199	58030	148156	326612	643258	1167279	1989685	3220811	4996817	7481188
		406	3546	14246	39831	90126	177486	316646	525021	822406	1231126	1776006	2484371 . . .
(**)			3140	10700	25585	50295	87330	139190	208375	297385	408720	544880	708365 . . .
				7560	14885	24710	37035	51860	69185	89010	111335	136160	163485 . . .
					7325	9825	12325	14825	17325	19825	22325	24825	27325 . . .
						2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500 . . .

Bevor ich nun zur Aufstellung der Formel übergehe, die die Anzahl der Möglichkeiten der Ausbezahlung von 100n Pfennigen in 100-, 50-, 25-, 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken angibt, beachte man zunächst folgende Beispiele:

100 Pf.								200 Pf.								300 Pf.							
100	50	25	10	5	2	1		100	50	25	10	5	2	1		100	50	25	10	5	2	1	
1	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	1	3	—	—	—	—	—	—	1
—	.	.	.	.	.	.	3953	1	.	.	.	.	.	.	3953	2	.	.	.	.	.	.	3953
Anzahl = 3954								—	.	.	.	.	.	.	58030	1	.	.	.	.	.	.	58030
								Anzahl = 61984								—	.	.	.	.	.	.	325612
																Anzahl = 387596							

u.s.w.

Wie man aus diesen Beispielen sieht, ist die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten von 100n Pfennigen in 100-, 50-, 25-, 10-, 5-, 2 und 1 Pfennigstücken gleich der Summe der $(n + 1)$ ersten Glieder der Reihe

1, 3953, 58030, 325612 . . . .

Die Glieder dieser Reihe erhält man aber, indem man aus der Reihe (**) das 1te, 3te, 5te, 7te Glied u.s.w. herausgreift. Greift man aber aus einer Reihe 5ter Ordnung Glieder in gleichem Abstande, hier im Abstande 2, heraus, so erhält man wiederum eine Reihe derselben, also der 5ten Ordnung mit der konstanten 5ten Differenz 2500. $2^5 = 2500$. $32 = 80000$, was in der Tat der Fall ist, wie aus nachstehender Reihe ersichtlich ist:

1, 3953, 58030, 325612, 1167279, 3220811, 7481188, 15380590, 28868397, 50491189, 83472746, 131794048, 200273275, 2946465807 . . .
3952 54077 267582 841667 2053532 4260377 7899402 13487807 21622792 32981557 48321302 68479227 94372532 . . .
50125 213505 574085 1211865 2206845 3639025 5588405 8134985 11358765 15339745 20157925 25893305 . . . (*_*)
163380 360580 637780 994980 1432180 1949380 2546580 3223780 3980980 4818180 5735380 . . .
197200 277200 357200 437200 517200 597200 677200 757200 837200 917200 . . .
80000 80000 80000 80000 80000 80000 80000 80000 80000 . . .

Die allgemeine Formel für die Anzahl der Ausbezahlungs-Möglichkeiten von 100 n Pfennigen in 100-, 50-, 25-, 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken lautet somit:

$$\binom{n+1}{1} + 3952.\binom{n+1}{2} + 50125.\binom{n+1}{3} + 163380.\binom{n+1}{4} + 197200.\binom{n+1}{5} + 80000.\binom{n+1}{6}.$$

Für	n =	1,	d. h.	für	1	Mark	oder	100	Pfennige	erhält	man	aus	dieser	Formel	den	Wert	:	3954
„	n =	2,	„	„	2	„	„	200	„	„	„	„	„	„	„	„	:	61984
„	n =	3,	„	„	3	„	„	300	„	„	„	„	„	„	„	„	:	387596
„	n =	4,	„	„	„	„	„	400	„	„	„	„	„	„	„	„	:	1554875
„	n =	5,	„	„	„	„	„	500	„	„	„	„	„	„	„	„	:	4775686
„	n =	6,	„	„	„	„	„	600	„	„	„	„	„	„	„	„	:	12256874
„	n =	7,	„	„	„	„	„	700	„	„	„	„	„	„	„	„	:	27637464
„	n =	8,	„	„	„	„	„	800	„	„	„	„	„	„	„	„	:	56505861
„	n =	9,	„	„	„	„	„	900	„	„	„	„	„	„	„	„	:	106997050
„	n =	10,	„	„	„	„	„	1000	„	„	„	„	„	„	„	„	:	190469796
„	n =	11,	„	„	„	„	„	1100	„	„	„	„	„	„	„	„	:	322263844
„	n =	12,	„	„	„	„	„	1200	„	„	„	„	„	„	„	„	:	522537119
„	n =	13,	„	„	„	„	„	1300	„	„	„	„	„	„	„	„	:	817182926

Anmerkung: Um die Lösung nicht zu weit auszudehnen, habe ich auch hier die Berechnung der einzelnen Zahlenwerte absichtlich weggelassen.

Diese berechneten Werte lassen sich ähnlich, wie bei der Reihe (**) rückwärts auch dadurch finden, dass man von der Reihe (*$_*$*) die 1te Summenreihe bildet.

Man erhält dann die Reihe:

$$\binom{**}{**}$$

1, 3954, 61984, 387596, 1554875, 4775686, 12256874, 27637464, 56505861, 106997050, 190469796, 322263844, 522537119, 817182926

3953 58030 325612 1167279 3220811 7481188 15380590 28868397 50491189 83472746 131794048 200273275 294645807 . . .

54077 267582 841667 2053532 4260377 7899402 13487807 21622792 32981557 48321302 68479227 94372532 . . .

213505 574085 1211865 2206845 3639025 5588405 8134985 11358765 15339745 20157925 25893305 . . .

360580 637780 994980 1432180 1949380 2546580 3223780 3980980 4818180 5735380 . . .

277200 357200 437200 517200 597200 677200 757200 837200 917200 . . .

80000 80000 80000 80000 80000 80000 80000 80000 . . .

Da nun zum Wechseln eines Talers auch noch das Zweimarkstück nötig ist, so hat man auf dem oben beschrittenen Wege noch etwas weiter zu gehen.

Um eine allgemeine Formel für die Ausbezahlung von 100. (2n + 1) Pfennigen in den 8 Münzsorten: 200, 100-, 50-, 25-, 10-, 5-, 2- und 1-Pfennigstücken zu erhalten, beobachte man zunächst, ähnlich wie nebenstehend, folgende Beispiele:

300 Pfennige

200	100	50	25	10	5	2	1	
1	.	.	.	.	.	.	.	3954
—	.	.	.	.	.	.	.	387596
							Anzahl =	391550

Die gesuchte Anzahl der Wechselmöglichkeiten eines Talers ist somit = 391550.

500 Pfennige

200	100	50	25	10	5	2	1	
2	.	.	.	.	.	.	.	3954
1	.	.	.	.	.	.	.	387596
—	.	.	.	.	.	.	.	4775686
							Anzahl =	5167236

700 Pfennige

200	100	50	25	10	5	2	1	
3	.	.	.	.	.	.	.	3954
2	.	.	.	.	.	.	.	387596
1	.	.	.	.	.	.	.	4775686
—	.	.	.	.	.	.	.	27637464
							Anzahl =	32804700

u.s.w.

Um aber auch eine allgemeine Formel für die Anzah dieser Ausbezahlungsmöglichkeiten zu erhalten, beachte man, dass wie aus diesen Beispielen ersichtlich ist, die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten von 100. (2n + 1) Pfennigen in den oben angegebenen 8 Münzsorten nichts anderes als gleich der Summe der (n + 1) ersten Glieder der Reihe

3954, 387596, 4775686, 27637464 . . . ist.

Betrachtet man diese Reihe etwas näher, so sieht man, dass sie sich sofort dadurch ergibt, dass man aus der Reihe $\binom{**}{**}$ das 2te, 4te, 6te, 8te . . . Glied herausgreift. Greift man aber aus einer Reihe 6ter Ordnung Glieder in demselben Intervalle, hier in dem Intervalle 2 heraus, so bilden die herausgegriffenen Glieder wiederum eine Reihe derselben, also der 6ten Ordnung, in welcher das konstante Glied der 6ten Differenzenreihe $= 80000$. $2^6 = 80000$. $64 = 5120000$ sein muss, was auch in der Tat der Fall ist, wie aus der folgenden Reihe ersichtlich ist:

$\binom{**}{**}$

3954, 387596, 4775686, 27637464, 106997050, 322263844, 817182926 . . .
383642 4388090 22861778 79359586 215266794 494919082 . . .
4004448 18473688 56497808 135907208 279652288 . . .
14469240 38024120 79409400 143745080 . . .
23554880 41385280 64335680 . . .
17830400 22950400 . . .
5120000 . . .

Die allgemeine Formel für die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten von 100. $(2n + 1$ Pfennigen in den 8 Münzsorten: Zweimark-, Einmark-, 50 Pfennig-, 25 Pfennig-, 10 Pfennig-, 5Pfennig, 2Pfennig- und 1Pfennigstücken ist also, wie oben angegeben wurde, nichts anderes als die Summe der $(n + 1)$ ersten Glieder der obigen Reihe $\binom{**}{**}$ und lautet somit:

$$3954.\binom{n}{1}^1 \quad 383642.\binom{n}{2}^1 \quad 40004448.\binom{n}{3}^1$$
$$+ 14469240.\binom{n}{4}^1 \quad 23554880.\binom{n}{5}^1 + 17830400.\binom{n}{6}^1$$
$$+ 5120000.\binom{n}{7}^1.$$

Um daher die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten für 300 Pfennige, d. h. die Anzahl der Arten zu finden, wie ein Taler in deutschen Münzsorten gewechselt werden kann, hat man nur in der zuletzt aufgestellten allgemeinen Formel $n = 1$ zu setzen. Man erhält dann den Wert:

$$3954.\binom{2}{1} + 386642.\binom{2}{2} = 3954.2 + 386642.1$$
$$= 7908 + 383642 = 391550.$$ (wie schon oben angegeben wurde.)

Anmerkungen:

1. Würde man die Aufgabe in der Form stellen: „Auf wie viele verschiedene Arten kann man einen Taler in deutschen Münzen ausbezahlen?“, so käme zu der nebenstehenden Zahl noch der weitere Fall dazu, dass man auch den Taler selbst, d. h. das Dreimarkstück, benützen kann und man erhielte dann 391551 Möglichkeiten. Da aber bei der gestellten Preisaufgabe ausdrücklich nur vom Wechseln eines Talers die Rede ist, so scheidet selbstverständlich das Dreimarkstück, d. h. der Taler aus und es bleibt somit bei der nebenstehenden, auf Grund der zuletzt aufgestellten allgemeinen Formel gefundenen Zahl von 391550 verschiedenen Möglichkeiten für das Wechseln eines Talers.

2. Wollte man auch eine allgemeine Formel für die Anzahl der Ausbezahlungsmöglichkeiten von 200 n Pfennigen in den oben angegebenen 8 Münzsorten haben, so würde sich, wie man auf ähnliche Weise, wie oben, sofort finden würde, diese Zahl als die Summe der $(n + 1)$ ersten Glieder einer Reihe 6ter Ordnung ergeben, die man dadurch erhielte, dass man aus der vorhergehenden Reihe $\binom{**}{**}$ das 1te, 3te, 5te, 7te . . . Glied herausgreift, nämlich der Reihe: 1, 61984, 1554875, 12256874, 56505861, 190469796, 522537119 . . . . Da man jedoch diese allgemeine Formel zur Lösung der gestellten Aufgabe über das Wechseln eines Talers gar nicht braucht, so habe ich dieselbe auch gar nicht aufgestellt, da ja die Formel für das Ausbezahlen von 100 $(2n + 1)$ Pfennigen in den nebenstehend angegebenen 8 Münzsorten für $n = 1$ sofort das gesuchte Resultat ergibt.

3. Würde man die oben dargelegte Art der Lösung dennoch weiter fortsetzen und auch noch das 3-Markstück hinzunehmen, so erhielte man für die Anzahl der Wechselmöglichkeiten für ein 5-Markstück den Wert 5229221, durch das weitere Hinzutreten des 5-Markstückes für die Zahl der Wechselmöglichkeiten eines 10-Markstückes den Wert 300504127 und durch das Hinzufügen des 10-Markstückes für die Zahl der Wechselmöglichkeiten eines 20-Markstückes den Wert 33230248752.

4. Zum Schluss dürfte es nicht uninteressant sein, auf Grund der vorhergehenden gefundenen Resultate die Anzahl der Wechselmöglichkeiten für die einzelnen deutschen Reichsmünzen zusammenzustellen. Man erhält hiebei folgende Zusammenstellung:

Ein	2-Pfg.stück	kann	in					1	Pfg.stücken	auf	1	Art	gewechselt	werden
„	5	„	„	„			2 u.	1	„	„	3	verschied. Arten	„	„
„	10	„	„	„			5, 2 „	1	„	„	10	„ „	„	„
„	25	„	„	„			10, 5, 2 „	1	„	„	64	„ „	„	„
„	50	„	„	„			25, 10, 5, 2 „	1	„	„	406	„ „	„	„
„	1-Markstück	„	„			50, 25, 10, 5. 2 „		1	„	„	3953	„ „	„	„
„	2	„	„	„		100, 50, 25, 10. 5, 2 „		1	„	„	61984	„ „	„	„
„	3	„	„	„		200, 100, 50, 25, 10, 5, 2 „		1	„	„	391550	„ „	„	„
„	5	„	„	„		300, 200, 100, 50, 25, 10, 5, 2 „		1	„	„	5229221	„ „	„	„
„	10	„	„	„		500, 300, 200, 100, 50, 25, 10, 5, 2 „		1	„	„	300504127	„ „	„	„
„	2	„	„	„		1000, 500, 300, 200, 100, 50, 25, 10, 5, 2 „		1	„	„	33230248752	„ „	„	„

Legt man als Zeit für das jedesmalige Ausbezahlen auch nur eine halbe Minute zugrunde, so würde man demnach, wenn man ununterbrochen, Tag und Nacht weiter machen würde, zum Wechseln

eines 2-Pfg.stückes nur ½ Minute
„ 5 „ „ „ 1½ Minuten
„ 10 „ „ „ 5 „
„ 25 „ „ schon 32 „
„ 50 „ „ schon 3 Stunden 23 Minuten
„ 1-Markstücks „ 1 Tag 8 Stunden 56½ Minuten
„ 2 „ „ „ 21 „ 12 „ 32 „
„ 3 „ „ „ 135 „ 2 „ 17½ „
„ 5 „ „ „ 4 Jahre 355 Tage 16 Stdn. 50½ Min.
„ 10 „ „ „ 295 „ 145 „ 21 „ 3½ „ u. schliesslich
„ 20 „ „ sogar 31611 „ 265 „ 19 „ 36 „ brauchen.

Ueber Schwerkraftsmessungen.

Vortrag von Prof. **R. Weller.**
(gekürzt)

Die Frage, welche Gestalt die Erde besitze, hat von jeher den menschlichen Geist beschäftigt. Es wurde zwar schon im Altertum die Kugelgestalt der Erde erkannt und gelehrt, aber die allgemeine Anschauung der sphärischen Form rang sich erst im 15. und 16. Jahrhundert durch. Bald modifizierte sich, infolge der Entdeckung der Achsendrehung, die Ansicht über ihre Gestalt in der Richtung, dass man ihr die Form eines Rotationssphäroids zuerkannte. Wegen der ungleichen Beschaffenheit der die Erdmasse zusammensetzenden Bestandteile und wegen der ungleichen Verteilung von Wasser und Land ist aber für wissenschaftliche Zwecke auch diese angenäherte Form noch ungeeignet. Man legt vielmehr die Niveau-Fläche des Schwer- und Schwungkraftpotentials, das Geoid, zu Grunde, eine Fläche, wie sie durch die Meeresoberfläche und durch die Oberfläche des Wassers in kommunizierenden Kanälen dargestellt ist, die man unter dem Festland sich denken kann. Diese ideelle Oberfläche hat aber eine Form, die man nicht auf einen einfachen, mathematischen Ausdruck bringen kann. Man verwendet daher statt ihrer ein 2-achsiges Ellipsoid, das Referenzellipsoid, das sich dem Geoid nahe anschmiegt.

Durch geodätische und physikalische Messungen (Lot- und Schwereabweichungen vom normalen, berechneten Wert) lässt sich die Abweichung des Geoids vom Bezugsellipsoid feststellen. Ein Beispiel: Die Intentität wie die Richtung der Schwerkraft muss sich in einem sonst homogenen Gebiet ändern, wenn durch eine heterogene Masse anderer Dichte die Homogenität gestört wird.

Die Geodäten und Physiker fast aller Länder haben sich im Jahr 1886 zu dem Institut der „internationalen Erdmessung“

zusammengeschlossen, um ein enormes Zahlenmaterial zu weiterer Bearbeitung zu beschaffen. Im folgenden sei die Ermittlung der physikalischen Konstanten der Erdschwere ihrer Intensität nach (nicht ihrer Richtung nach) geschildert. In Württemberg wurden die Messungen von Prof. Dr. Koch an der Techn. Hochschule Stuttgart ausgeführt. Die Mittel wurden vom Landtag im Jahr 1896 bewilligt und die Messungen wurden in den Jahren 1900 bis 1908 auf 56 Stationen vorgenommen. (Siehe die Veröffentlichungen in den Jahresheften des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg.)

Um die Schwerebeschleunigung g an einem Orte zu bestimmen, bedient man sich bekanntlich eines Pendels. Nach der Pendelformel ist

1) $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, wo t die Schwingungszeit und l die reduzierte Pendellänge bedeutet. Aus dieser Formel folgt:

2) $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$.

Aus 2) könnte man g in absoluter Grösse bestimmen. Schwierigkeit macht aber die korrekte Feststellung der Länge l; man begnügt sich daher mit der Feststellung der „relativen Schwere", d. h. der Schwerebeschleunigung in Bezug auf ein bekanntes, absolut bestimmtes g. Beobachtet man nämlich ein schwingendes Pendel an 2 verschiedenen Orten, so lässt sich die Länge l eliminieren und es folgt aus 2), wenn g_1 und g_2 die Schwerebeschleunigungen an den beiden Orten sind:

3) $\frac{g_1}{g_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$.

Um den Uhrgang möglichst unschädlich zu machen, lässt man auf der Zentralstation (Stuttgart) gleichzeitig ein Pendel mit dem „Reisependel" schwingen und vergleicht die Schwingungsdauer des letzteren mit der des ersteren zunächst im Pendelraum in Stuttgart und dann wieder, wenn das eine Pendel auf der Feldstation schwingt, das andere dagegen in Stuttgart. Die Schwingungsdauer jedes Pendels wird durch ein und dieselbe Präcisionsuhr bestimmt, die auf der Zentralstation aufgestellt ist: zur Uebertragung der Zeit auf elektrischem Wege dienten die gewöhnlichen Telephonleitungen; die Beobachtungen fanden schon

deswegen — von andern Gründen abgesehen — des Nachts statt. Um schon kleine Unterschiede im Wert g feststellen zu können, muss natürlich die Schwingungsdauer präcis bestimmt werden. Dies wird erreicht einmal durch mehrere Beobachtungsreihen, deren jede einzelne eine Stunde in Anspruch nimmt. Würde man z. B. etwa eine Stunde lang die Schwingungen zählen und die ganze Beobachtungszeit durch die Anzahl der Schwingungen dividieren, so liesse sich die Schwingungszeit schon recht genau feststellen, aber die Beobachtungsmethode würde zu sehr anstrengen, wäre überdies unsicher und geisttötend. Verfeinert und anregender wird die Beobachtung durch die Methode der Koincidenzen: die schwingenden Pendel tragen am obern Ende einen mitschwingenden Spiegel. Die Präcisionsuhr auf der Zentralstation ist in elektrischem Kontakt mit dem Elektromagneten 2er Kästchen, von denen eines sich auf der Zentralstation, das andere auf der Feldstation befindet. Diese Kästchen tragen Fernröhren, mit denen der Pendelspiegel beobachtet werden kann. Am vordern Ende des Kästchens befindet sich ein beweglicher Schlitz, der alle 2 Sekunden durch die Uhr auf der Centralstation einmal auf und ab bewegt werden kann. Dabei kann jedesmal ein Lichtstrahl auf den Pendelspiegel fallen. Der reflektierte Strahl wird immer dann durch die Mitte des Fernrohrgesichtsfelds gehen, wenn die Pendelschwingung gerade mit der Uhrpendelschwingung zusammenfällt. Die Zeit dieser Koincidenzen wird notiert und nun kann aus vielen, weit auseinanderliegenden Koincidenzen im Lauf einer Stunde die Schwingungsdauer der Pendel sehr genau bestimmt werden.

Viele Nebenumstände wirken auf den so erhaltenen Zeitwert ein, vor allem die Temperatur. Der Beobachter und die Lampe strahlen Wärme aus. Um die Pendel vor dieser Wärmestrahlung zu schützen, werden sie im Innern eines hölzernen Kastens aufgehängt, der nur die für die Einsicht nötigen Oeffnungen hat, die Thermometer, deren Gang auf den Temperaturgang des Pendels möglichst abgestimmt ist, hängen ebenfalls im Innern des Kastens. Die Luft im Kasten kann durch einen Windflügel ab und zu umgerührt werden, die Bedienung des Pendels (Heben und Senken, Erteilen der Amplitude) kann von aussen geschehen. Dann kann ein Fehler durch das Mitschwingen des Pendelstativs

verursacht werden; diesen Fehler hat Professor Dr. Koch durch Konstruktion eines neuen geeigneten Pendelstativs so verkleinert, dass er vernachlässigt werden konnte. Ein frei aufgehängtes Vertikalpendel hätte ferner stärkere Erderschütterungen angezeigt.

Dann ist die Schwingungsdauer natürlich auch abhängig vom Barometerstand: ein Pendel schwingt in dichterer Luft langsamer als in einer dünnen. Auf der Zentralstation Stuttgart ist ein gutes, jederzeit kontrollierbares Normalbarometer vorhanden. Mit ihm kann ein empfindliches Aneroidbarometer verglichen werden, das aber zur Sicherheit auf jeder Feldstation noch mit einem Siedethermometer geprüft wird.

Auch die Uhr kann einen Fehler in der Bestimmung der Schwingungsdauer ergeben, falls die beiden zu vergleichenden Pendel nicht gleichzeitig schwingen würden. Daher werden nach vorhergehender telefonischer Verständigung die Beobachtungen gleichzeitig begonnen. Dadurch fällt ein etwaiger Fehler im Uhrgang weg. Ausserdem kann die Uhr selbst mit Hilfe von Sternbeobachtungen in ihrem Gang und in ihrer Abhängigkeit vom Barometerstand geprüft werden. Letztere Beobachtungen, von mir ausgeführt, lieferten keine positiven Resultate, da nur bei kleinen Schwankungen im Barometerstand beobachtet werden konnte. Bei tiefem Barometerstand war die Luft meist so dunstig oder bewölkt, dass Tage und Wochen hindurch der Sternhimmel überhaupt nicht gesehen werden konnte. Doch ergab sich, dass der Uhrgang nur äusserst kleine Schwankungen zeigte, Schwankungen, die vollends bei der Gleichzeitigkeit der vorgenommenen Messungen vollständig belanglos waren. Endlich muss noch an die Pendel die Forderung der Invariabilität gestellt werden. Die anfänglich aus Messing hergestellten Pendel wurden später durch solche aus Deltametall ersetzt. Dass die Achatschneide des Pendels mit aller Sorgfalt hergestellt und am Pendelkopf befestigt wurde, versteht sich von selbst. Bei Reisen wurden die Pendel persönlich transportiert in geeigneten Kistchen: um chemische Einflüsse der Atmosphärilien auszuschliessen, wurden die Pendel vergoldet, der Ausgleich innerer Spannungen wurde beschleunigt durch eine künstliche Alterung. Für den Fall der Beschädigung eines Pendels, sowie der grösseren Sicherheit wegen wurden 2 Paare von Pendeln benützt. Um die Achatschneiden

nicht unnötig abzunützen wurden die Pendel nach jeder Messung in die Höhe gehoben und dadurch arretiert.

Wird nun aus einem Satz von Beobachtungen die Schwingungszeit t bestimmt, so müssen noch die nötigen Korrektionen angebracht werden. Der Temperaturkoeffizient kann bestimmt werden dadurch, dass man die Pendel im Thermostaten schwingen lässt und die Aenderung der Schwingungszeit bei bekannten Temperaturen bestimmt. Natürlich müssen zu diesem Zwecke die Thermometer selbst wieder geprüft und verglichen werden. Der Barometerkoeffizient lässt sich ermitteln durch Beobachten der Schwingungszeiten bei verschiedenen Barometerständen und die Amplitudenkorrektion kann rein rechnerisch gefunden werden. Bringt man nun alle diese Korrektionen an und berechnet sodann die Schwingungszeit der Pendel in (hiefür üblichen) Sternzeitsekunden, so muss die Genauigkeit der Uebereinstimmung der gewonnenen Resultate überraschen. Es ergab sich z. B. hier bei der vom 18./19. April ausgeführten Messung als Schwingungsdauer eines Pendels

bei der 1. etwa einstündigen Beobachtung 0,508 1459 Sek.
„ „ 2. „ 0,508 1455 „
„ „ 3. „ 5,508 1458 „

Es ist daher nicht zu verwundern, wenn schon die geringste Beschleunigungsänderung bei einer so weitgehenden Feinheit der Beobachtung sich bemerklich macht. So war die korrigierte Schwingungsdauer desselben Pendels 2 Tage nachher in Blaubeuren 0,508 1484 Sekunden (Mittel aus 3 Messungen).

Aus diesen Schwingungszeiten lässt sich nun nach den weiter oben angeführten Beziehungen die wahre Beschleunigung an einem Orte ausrechnen, wenn sie für einen andern (Stuttgart) bekannt ist. Die Beschleunigung in Stuttgart wurde durch 2 malige Anschlussmessungen an Karlsruhe festgelegt.

Um nun aber die berechneten Werte der Erdschwere unter sich vergleichen und damit für das Geoid Folgerungen ziehen zu können, sind weitere Korrektionen notwendig. Die Werte müssen auf Meereshöhe reduziert werden. Diese Reduktion ist selbst eine 3fache:

wegen der Zentrifugalkraft muss eine positive Korrektion angebracht werden, die Massen unter dem Beobachtungsort bis zum

Bezugsellipsoid vergrössern die Schwere: die Korrektion wegen des Untergrunds (dessen Dichte und Zusammensetzung natürlich angenähert bekannt sein muss), ist also eine negative: auch die Bodengestalt der Umgebung muss berücksichtigt werden: sie liefert eine kleine positive Korrektion, die topographische Korrektion. Einige Zahlenbeispiele:

Wirkliche, beobachtete, Schwere in	Stuttgart	9,80915
	Ulm	9,80819
	Heilbronn	9,80993
Reduzierte Schwere im Meeresniveau in	Stuttgart	9,80972
	Ulm	9,80913
	Heilbronn	9,81026

Nun lässt sich aber auch die Schwere für einen bestimmten Ort unter der geographischen Breite und nach der von Helmert für das Bezugsellipsoid geltenden Formel

$g = 9{,}7800\,(1 + 0{,}005310 \sin^2\varphi)$ oder nach der neueren Formel: $g = 978{,}046\,(1 + 0{,}005302 \sin^2\varphi - 0{,}000007 \sin^2 2\varphi)$ berechnen. Die Differenz zwischen dem durch Berechnung und durch Beobachtung gefundenen Wert liefert ein Mass für die Störung der Schwere an der Geoidfläche gegenüber der auf dem Bezugsellipsoid.

Diese Abweichung beträgt z. B.

für Stuttgart	— 0,00007
„ Ulm	— 0,00026
„ Heilbronn	+ 0,00020

Schon aus diesen 3 Zahlen ist ersichtlich, dass die Schwereanomalie in Württemberg nach Süden zu grösser wird. Das ist dem Einfluss des Gebirges zuzuschreiben. Wo auch in der Nähe der Gebirge gemessen wurde, überall hat man gefunden, dass den oberirdischen Massenhäufungen unterirdische Defekte entsprechen.

Man konnte ebenso nachweisen, dass in der Nähe von Küsten die normale, berechnete Schwere grösser ist als die auf dem Festland selbst und noch grösser ist sie auf ozeanischen Inseln.

Man könnte auch erwarten, dass bei solch feinen Präcisionsmessungen wie der geschilderten technisch wichtige Gesteinsmassen entdeckt würden, dass das Pendel gleichsam die Rolle einer Wünschelrute spielte und unterirdische Erzlager anzeigen

könnte. Innerhalb Württembergs hätten die Messungen bei Aalen etwa einen abnormen Wert der Schwere ergeben können. Diese Vermutung wurde aber nicht bestätigt.

Dagegen lässt sich nun aus den reichlich vorliegenden Daten der Erdschwere auf geodätisch-physikalischem Wege auch die Abplattung der Erde berechnen.

Sie kann bekanntlich auf verschiedene Weise festgestellt werden: Durch die Störungen, die der Mond in seiner Bewegung durch die Erde erleidet, durch Gradmessungen, durch die Präcessions- und Nutationserscheinungen und endlich durch Schweremessungen. Clairaut stellte eine Beziehung auf zwischen der Abplattung der Erde, der Zunahme der Schwerkraft vom Aequator zum Pol, der Zentrifugal- und Schwerkraft am Aequator; da die letztgenannten Grössen durch Beobachtung leicht bestimmt werden können, so ergibt sich hieraus durch Rechnung die Abplattung der Erde. Bemerkenswert ist, dass der gefundene Wert unabhängig ist von Lotabweichungen.

Interessant ist nun die Frage, ob sich die Schwerkraft an einem und demselben Ort im Lauf der Zeit ändert. Das ist schon deswegen von Wichtigkeit, weil, wenn dies der Fall ist, eine sehr genaue Bestimmung von g mehr oder weniger illusorisch ist. Veränderungen könnten hervorgerufen werden durch Massenverschiebungen auf der Erdoberfläche (Ebbe, Flut, Meeres- und Luftströmungen, Schmelzen der Polareiskappen etc.) und im Erdinnern (plötzliche, katastrophenhafte Umlagerungen, oder ruhig vor sich gehende Verschiebungen im Erdinnern, für die man bis jetzt keinen direkten Nachweis erbringen kann). Es hat sich zum erstenmal bei den Arbeiten der württembergischen Kommission gezeigt, dass eine Konstanz von g zum mindesten zweifelhaft erscheint. Anschlussmessungen mit Karlsruhe in verschiedenen Jahren haben, trotz kleiner mittlerer Beobachtungsfehler, merklich von einander abweichende Werte ergeben[1]), Messungen in derselben Gegend Württembergs ergaben in verschiedenen Jahren (Heilbronn 1907 und Umgebung 1900) ebenfalls merkwürdige Abweichungen.

[1]) Koch, Ueber Beobachtungen, welche eine zeitliche Aenderung der Grösse der Schwerkraft wahrscheinlich machen. Wiedemanns Annalen. Bd. 15. 1904. p. 146 f.

Wenn nun unterirdische Massenverschiebungen stattfinden, so müsste die absolute Schwere eines Orts sich ändern, aber im allgemeinen auch die relative in Beziehung auf einen andern und zwar im allgemeinen um so mehr, je weiter die beiden Orte auseinanderliegen. Nun ist die Messung der relativen Aenderung der Schwere zweier Stationen weit leichter und sicherer auszuführen als die Messung der Schwerkraftsänderung an einem und demselben Ort. Innerhalb Württembergs sind aber die Abmessungen zu klein, nach Süden darf man die Stationen nicht zu weit vorschieben wegen des Sees; es müssten daher sich mehrere Länder vereinigen, wenn der Nachweis der Aenderung der Erdschwere ziffernmässig und einwandfrei festgestellt werden sollte. Wäre der Beweis dafür und der Gang der Aenderung erbracht, so wäre damit vielleicht auch ein Teil der Ursache für die unregelmässigen Polschwankungen gefunden, die man seit 1898 durch die Einrichtung eines internationalen Polhöhendienstes systematisch beobachtet und die noch nicht ganz aufgeklärt sind. Wäre der Mond allein die Ursache der Schwankungen, so müsste die Bewegung doch wohl regelmässiger sein. Wenn aber grössere Umlagerungen im Erdinnern oder auf der Erdoberfläche selbst merkliche Wirkungen ausübten, so liesse sich sowohl eine Aenderung der Schwerebeschleunigung wie auch eine Verschiebung der Erdachse, also auch eine Aenderung der Polhöhe und geographischen Breite im Lauf der Zeit erklären.

Gesetzt, die Erde wäre ein dreiaxiges Ellipsoid und rotiere um eine der 3 Hauptträgheitsachsen, dann müsste sie dauernd um diese Achse rotieren. Fällt aber die Drehungsachse nicht mit einer der Hauptträgheitsachsen zusammen, so würde die Momentanachse, eine starre Erde vorausgesetzt, sich um die Trägheitsachse (nach Euler) in 305 Tagen drehen. Die Voraussetzung der Starrheit trifft aber nicht zu. Es lässt sich nachweisen, dass sogar eine Stahlkugel von den Dimensionen der Erde sich bei selben Rotationsgeschwindigkeit schon merklich abplatten müsste. Man wird daher auch nicht erwarten dürfen, dass die Erdachse bei ihrer Schwankung die erwähnte Periode zeigen müsse; die beobachtete Periode von ca. 14 Monaten weicht auch stark von diesem Betrag ab. Eine Erklärung dafür lässt sich möglicherweise folgendermassen finden: Angenommen es falle die Rotationsachse

unseres Ellipsoids ursprünglich mit einer der 3 Hauptträgheitsachsen zusammen; finden nun ober- oder unterirdische Verschiebungen statt, so werden die Achsen verlegt und die Momentanachse wird nicht mehr mit einer der 3 Hauptträgheitsachsen zusammenfallen, es wäre also jetzt der Fall eingetreten, bei dem die Momentanachse um die Hauptträgheitsachse rotieren müsste; gleichzeitig werden sich die Entfernungen zwischen beiden Achsen (weil die Erde nicht starr ist) ändern müssen, der Pol der Rotationsachse wird also keine kreisförmige Bahn um die Hauptachse beschreiben und dadurch könnte die Umlaufszeit vergrössert werden.

Schliesslich sei noch die Beziehung erwähnt die zwischen der Schwere und gewissen tektonischen Linien besteht. Zu beiden Seiten von Verwerfungsspalten befinden sich in gleicher Höhe im allgemeinen Schichten verschiedener Dichte. Die Anomaliekurven werden dort dichter gedrängt sein, wo durch Massendefekte, eingesprengte Massen, besonders aber wo durch Massen ungleicher Dichte, hervorgerufen durch Verwerfungen, die Homogenität der Erdkruste gestört wird. Darnach müsste man im Stand sein mit dem Pendel verborgenen Verwerfungslinien nachzugehen. Die Linien gleicher Schwereanomalie müssten dann vielfach mit Verwerfungslinien gleiche Richtung haben. Das ist übrigens an verschiedenen Orten z. B. in Süditalien und Sizilien bereits festgestellt worden. Auch in Württemberg scheint dies im allgemeinen zuzutreffen. So schneidet z. B. die Kurve der Schwereanomalie das Ulmer Gebiet in ostnordöstlicher Richtung. Allerdings macht sich im Württembergischen der Einfluss des Gebirges schon so stark geltend, dass mit Sicherheit vorläufig, bei der verhältnismässig geringen Anzahl von Daten, ein allgemeiner Schluss nicht gezogen werden kann. Man müsste, um sicher zu gehen, in der Nähe der vermuteten Spalten mehrere Messungen vornehmen. Dann würde wohl auch die vielumstrittene Frage, ob bei Ulm ein Albabbruch stattfindet oder nicht eine neue Beleuchtung erfahren.

Für derartige Untersuchungen wäre freilich die geschilderte Messungsmethode zu kostspielig und kompliziert. Es dürfte sich hiezu vielleicht schon ein kleinerer Apparat eignen, bestehend aus 2 Pendeln, einem gewöhnlichen, dessen Schwingungszeit von der Schwereintensität abhängig ist und einem Torsionspendel,

das unabhängig von der Schwerkraft schwingt. Beide würden, um verschiedenen Fehlern auszuweichen, im Vakuum an Quarzfäden aufgehängt, beide würden mit Spiegeln versehen in der Art, dass ein Lichtstrahl nacheinander beide Spiegel trifft; der vom 2. Spiegel reflektierte Lichtstrahl würde dann nach der Art der Koincidenzmethode verwertet.

Möge es mir gelungen sein — dann wäre der Zweck meiner Ausführungen erreicht — Sie einen Blick werfen zu lassen hinter die Kulissen einer Präcissionsmessung, die über die ganze Erde sich erstreckt, einer Ameisenarbeit, die ganz im stillen vor sich geht und von der nur wenig Leute wissen, dass sie Jahr für Jahr geleistet wird. Sie sehen, wie auch auf diesem kleinem Gebiet, wie auf jedem wissenschaftlichen, Jahr für Jahr Brücken ins Unbekannte geschlagen werden, wie jedes Jahr neue Fortschritte, aber auch neue Fragen bringt, Probleme für den rastlos vorwärts stürmenden Menschengeist.

506
ULM
V.15

Mitteilungen

des

Vereins für Mathematik und Naturwissenschaften

in

Ulm a. D.

Fünfzehntes Heft.

ULM a. D. 1912.
Buchdruckerei Frey,
: Dr. Karl Höhn :

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 079508195